

Grey Scale #13



DANES-PICTA.COM

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OPK
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

ASG WP uchw. 3707/82

JAWNY

Egz. nr 1

Płk mgr inż. Kazimierz PIĄTKOWSKI

**ZAKŁÓCANIE
NAZIEMNYCH I POKŁADOWYCH RLS
PRZEZ SAMOLOTOWE STACJE
ZAKŁÓCEŃ RE**

Skrypt



49615

WARSZAWA

1982



Colour Chart #13

DANES-PICTA.COM

2

1406

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OPK
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

ASG WP wczsn. 3707/82

JAWNE

~~XXXXXXXXXX~~

Egz. nr 1

Płk mgr inż. Kazimierz PIĄTKOWSKI

ZAKŁÓCANIE NAZIEMNYCH I POKŁADOWYCH RLS PRZEZ SAMOLOTOWE STACJE ZAKŁÓCENŃ RE

Skrypt



OPK



49615

WARSZAWA

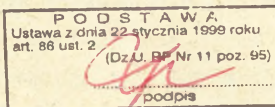
1982

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OPK
PRZEKLASYFIKACJA KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

Protokół Nr 54305

ASG WP wewn. 3707/82



JAWNE

~~SECRET~~
Egz. nr....

1

Płk mgr inż. Kazimierz PIĄTKOWSKI



ZAKŁOCANIE NAZIEMNYCH I POKŁADOWYCH RLS
PRZEZ SAMOLOTOWE STACJE ZAKŁOCEN RE

Skrypt



SPIS TREŚCI

Strona

WSTĘP

1. WARUNKI SKUTECZNOŚCI I SPOSOBY WYTWARZANIA ZAKŁÓCEŃ CZYNNYCH PRZECIWKO RADIOLOKACYJNYM STACJOM WYKRYWANIA, NAPROWADZANIA I WSKAZYWANIA CELÓW	3
2. WARUNKI SKUTECZNOŚCI I SPOSOBY STOSOWANIA ZAKŁÓCEŃ CZYNNYCH PRZECIWKO STACJOM RADIOLOKACYJNYM Z AUTOMATYCZNYM ŚLEDZENIEM CELÓW	18
3. METODYKA OBLICZEŃ NA STOSOWANIE AKTYWNYCH ŚRODKÓW ZAKŁÓCEŃ RADIOELEKTRONICZNYCH PRZECIWKO PRACY STACJI RADIOLOKACYJNYCH	26
3.1. Kolejność obliczeń na stosowanie samolotowych grupowych środków zakłóceń przeciwko naziemnym stacjom radiolokacyjnym wykrywania, naprowadzania i wskazywania celów.	26
3.2. Obliczanie skuteczności osłony ugrupowania bojowego	36
3.3. Kolejność obliczeń skuteczności stosowania indywidualnych środków zakłóceń przeciwko stacjom radiolokacyjnym z automatycznym śledzeniem celów.	38
BIBLIOGRAFIA.	40

WSTĘP

W siłach zbrojnych państw NATO szerokie zastosowanie mają urządzenia radiolokacyjne.

Szczególną rolę odgrywają one w wojskach obrony powietrznej i w lotnictwie. Powszechne zastosowanie urządzeń radiolokacji uczyniło z nich równocześnie newralgiczny element różnego rodzaju systemów obrony powietrznej, ponieważ łatwo można je wykrywać na podstawie promieniowania energii elektromagnetycznej i obezwładniać, stosując zakłócenia radioelektroniczne.

Obezwładnienie zakłóceniami radioelektronicznymi urządzeń radiolokacji jest jednym z ważnych rodzajów zabezpieczenia działań bojowych lotnictwa podczas pokonywania obrony powietrznej przeciwnika.

Skrypt niniejszy rozpatruje zagadnienia dotyczące stosowania zakłóceń czynnych przeciwko naziemnym i samolotowym urządzeniom radiolokacyjnym. Rozdział pierwszy i drugi dotyczy rozważań teoretycznych i skuteczności ich stosowania.

W rozdziale trzecim podana jest metodyka obliczeń na stosowanie zakłóceń czynnych różnego przeznaczenia przeciwko stacjom radiolokacyjnym.

Materiał zawarty w skrypcie może być pomocny dla słuchaczy akademii kursów lotniczych i WOPK w rozwiązywaniu zagadnień taktycznych oraz dla wykładowców zajmujących się problemami walki radioelektronicznej.

1. WARUNKI SKUTECZNOŚCI I SPOSOBY WYTWARZANIA ZAKŁÓCEŃ CZYNNYCH PRZECIWKO RADIOLOKACYJNYM STACJOM WYKRYWANIA, NAPROWADZANIA I WSKAZYWANIA CELÓW

Zakłócenia radioelektroniczne czynne stosowane są przeciwko naziemnym stacjom radiolokacyjnym wykrywania, naprowadzania i wskazywania celów z zadaniem zamaskowania na ekranach wskaźników stacji radiolokacyjnych znaczników od realnych samolotów. Działanie maskujące zakłóceń polega na zmniejszeniu prawdopodobieństwa wykrycia celów, zasłoniętych zakłóceniami. Z kryterium skuteczności oddziaływania zakłóceń na rozpatrywane stacje wiążą się ściśle wielkości prawdopodobieństwa wykrycia celów w warunkach zakłóceń.

Aby na tle przeszkadzających sygnałów z nadajników zakłóceń odbite od celów sygnały wykrywać z prawdopodobieństwem mniejszym od zadanego, należy spełnić następujące warunki:

- sygnały promieniowane przez nadajnik zakłóceń powinny znajdować się w paśmie przepuszczania częstotliwości odbiornika zakłócaniej stacji radiolokacyjnej i posiadać odpowiednią strukturę, która zapewni maskowanie;

- sygnały z nadajnika zakłóceń i sygnały odbite od celów powinny przychodzić na wejście odbiornika stacji radiolokacyjnej równocześnie;
- na wyjściu odbiornika musi być zachowany odpowiedni stosunek mocy sygnału zakłócającego do mocy sygnału użytecznego /odbitego od celu/.

Wymienione warunki określają sposoby wytwarzania zakłóceń za pomocą specjalnych nadajników zakłóceń i pozwalają dokonać praktycznych obliczeń skuteczności zakłóceń lub wymaganej ilości środków dla osiągnięcia zadanej ich efektywności.

Spełnienie pierwszego warunku wymaga promieniowania przez nadajnik sygnałów zakłóceń tak, aby przez przestrojenie odbiornika stacji radiolokacyjnej nie można było ich wyeliminować.

Spełnienie drugiego warunku wymaga znajdowania się zarówno celów, jak i źródeł zakłóceń w jednym czasie w strefie wykrywania stacji radiolokacyjnej. Z warunku tego wynika, że stacje zakłóceń mogą być montowane na samym celu lub też na innych obiektach będących w ugrupowaniu bojowym.

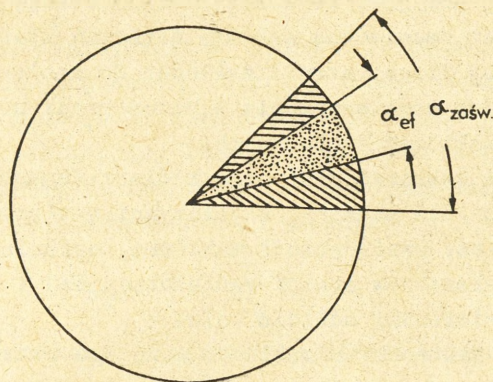
Spełnienie trzeciego warunku wymaga określonej mocy promieniowania nadajników zakłóceń. Dla maskowania bardziej zwartej ugrupowania bojowego moc promieniowana przez nadajnik zakłóceń powinna być większa niż w wypadku maskowania pojedynczych samolotów lub luźnego ugrupowania bojowego.

W celu wytworzenia skutecznych zakłóceń, przy pomocy nadajników zakłóceń, tj. zmniejszenia prawdopodobieństwa wykrywania celów przez stację radiolokacyjną, moc sygnału zakłóceń na wejściu odbiornika stacji radiolokacyjnej powinna być większa od mocy sygnału użytecznego.

Jeśli warunek ten zostanie spełniony, to na podstawie czasu wskaźnika z modulacją odchyleniową /typu "A"/ można będzie zaobserwować przeszkadzające piki, a na ekranie wskaźnika z modulacją jasności /typ "P"/ pojawi się sektor rozjaśniony /rys. 1/.

Szerokość sektora rozjaśnionego zależy od wielu czynników. Podstawowymi z nich są: szerokość charakterystyki kierunkowej systemu antenowego RLS oraz liczba i poziom jej listków bocznych, moc nadajnika zakłóceń i zysk kierunkowy anteny stacji zakłóceń, szerokość widma zakłóceń, odległość nadajnika zakłóceń do stacji zakłócanej, wzmocnienie odbiornika RLS.

Rozjaśnianie sektora na ekranie nie jest stałe i może się zmieniać w dowolnie szerokim zakresie. Można je zmniejszyć, osłabiając wzmocnienie odbiornika RLS. W tym wypadku zmniejsza się również możliwość wykrycia celów przez RLS. Rozjaśnienie sektora może zawęzić się, jeśli RLS posiada wąskie charakterystyki kierunkowe, co ma miejsce w stacjach zakresu cm.



Rys. 1. Efektywny i rozjaśniony sektor zakłóceń czynnych

Rozjaśnianie sektora na ekranie wskaźnika nie oznacza bynajmniej, że w całym jego zakresie zapewnione jest maskowanie sygnału użytkowego /odbitego od celu/.

W praktyce granicę rozjaśnionego sektora określa się wówczas, gdy moc zakłóceń P_z jest równa czułości odbiornika $P_{\text{odb min}}$. Moc sygnału użytkowego odbitego od celu P_c , znajdującego się na odległości mniejszej od maksymalnej odległości jego wykrycia, jest większa od $P_{\text{odb min}}$ i większa niż P na granicy rozjaśnionego sektora. Można zatem wysnuć wniosek, że podstawowy warunek - niezbędna wartość stosunku mocy sygnału zakłóceń do mocy sygnału użytecznego - nie jest spełniony w całym sektorze. Pozwala to obserwować cel w pewnych częściach sektora.

Warunki efektywnego /skutecznego/ maskowania zapewnia się w nieco mniejszym sektorze, tj. w tak zwanym sektorze skutecznych zakłóceń /rys. 1/.

Przez pojęcie sektora skutecznych zakłóceń rozumiemy kąt /skierowany od stacji radiolokacyjnej na nadajnik zakłóceń/, w którego granicach na skutek maskowania sygnałami zakłóceń znaczniki od celów, są wykrywane z mniejszym prawdopodobieństwem odpowiadającym zadanej wielkości.

W sektorze zakłóceń skutecznych powinno być zapewnione wymagane zmniejszenie prawdopodobieństwa wykrycia do zadanej wielkości. Wymagany stosunek mocy sygnału zakłóceń do sygnału użytkowego nazywamy współczynnikiem tłumienia k_z /współczynnikiem skutecznych zakłóceń/.

Rozróżniamy sektory skutecznych zakłóceń w płaszczyźnie poziomej α_{ef} i w płaszczyźnie pionowej β_{ef} .

W praktyce można przyjąć, że linia łącząca stację radiolokacyjną i stację zakłóceń jest dwusieczną sektora zakłóceń skutecznych. Przy określaniu wymaganej liczby stacji zakłóceń do maskowania ugrupowania bojowego, a także ich rozmieszczenia w przestrzeni należy wychodzić z wielkości sektora zakłóceń skutecznych.

Wielkość sektora zakłóceń skutecznych dla zadanego prawdopodobieństwa wykrycia w nim /dla zadanego współczynnika tłumienia - k_z / zależy od wzajemnego rozmieszczenia stacji zakłóceń, osłanianego celu i zakłócającej stacji, parametrów stacji radiolokacyjnej i stacji zakłóceń oraz skutecznej powierzchni odbicia celu.

Wielkość sektora skutecznych zakłóceń może być określana eksperymentalnie lub na podstawie obliczeń. W tym celu należy znać: współczynnik tłumienia, parametry stacji radiolokacyjnej i stacji zakłóceń oraz charakterystyki kierunkowe ich anten w płaszczyźnie poziomej i pionowej.

Wielkość niezbędnego stosunku sygnału zakłóceń do sygnału użytecznego, przy którym zapewnia się zmniejszenie prawdopodobieństwa wykrycia celu do zadanej wielkości, określa się prawdopodobieństwem wykrycia sygnału użytecznego na tle szumów. Uwzględnia się przy tym właściwości wskaźnika i niestabilność zakłóceń czynnych.

Jak wykazuje doświadczenie, dla obliczania prawdopodobieństwa wykrycia celu na tle zakłóceń szumowych można posługiwać się wyrażeniem prawdopodobieństwa wykrycia sygnałów impulsowych na tle szumów własnych odbiornika.

Dla większości odbiorników radiolokacyjnych /nie będących idealnie zsynchronizowanymi z odbiorem odbitych sygnałów/ związek między prawdopodobieństwem wykrywania i niezbędnym współczynnikiem tłumienia k_z określa się wyrażeniem:

$$P_{\text{wykr}_1} = \left/ 1 + \frac{1,25 k_z}{N} \right/^{N-1} \cdot e^{-\frac{y_0}{1,25 k_z}} + 1 \quad /1/$$

gdzie: P_{wykr_1} - prawdopodobieństwo wykrycia znacznika od celu na ekranie wskaźnika podczas jednego obrotu anteny;

N - liczba odbitych impulsów od celu zgromadzonych w urządzeniu wskaźnikowym w czasie jednego obrotu anteny;

k_z - stosunek mocy sygnału zakłóceń do mocy sygnału użytecznego na wejściu odbiornika zapewniający prawdopodobieństwo wykrycia P_{wykr_1} /wymagany współczynnik tłumienia/;

y_0 - znormalizowany względem mocy szumów próg wykrywania.

Liczba nagromadzonych impulsów zależy od rodzaju urządzenia wskaźnikowego stacji radiolokacyjnej.

Podczas wykorzystywania w stacjach radiolokacyjnych wyłącznie wskaźników z modulacją jasności liczba nagromadzonych impulsów nie przewyższa 8-12. Po zastosowaniu w urządzeniu wskaźnikowym specjalnych układów gromadzących impulsy liczba ta może wzrosnąć do $N_{maks} = 20$. Liczba ta nie może przewyższać liczby impulsów przychodzących na wejście odbiornika podczas jednego obrotu anteny.

$$N_{obs} = 0,7 \frac{\theta_{\varphi}^0}{6n_a} F_i \quad /2/$$

gdzie: θ_{φ} - szerokość charakterystyki kierunkowej anteny RLS w stopniach;

n_a - liczba obrotów anteny na minutę;

F_i - częstotliwość powtarzania impulsów - imp/s.

Wybierając N w celu podstawienia do wzoru /1/ należy uwzględnić wyrażenie:

$$N = \begin{cases} N_{obs} & \text{dla } N_{obs} \leq N_{maks} \\ N_{maks} & \text{dla } N_{obs} > N_{maks} \end{cases}$$

Znormalizowany wg mocy szumów próg wykrycia obiektów określa się zadaną wielkością prawdopodobieństwa fałszywego alarmu /prawdopodobieństwem pojawienia się na ekranie wskaźnika fałszywych znaczników/i liczbą całkowanych impulsów N .

Wielkość prawdopodobieństwa fałszywego alarmu P_{fa} zależy od wstępnej znajomości przez operatora parametrów lotu celu w obszarze zakłóceń. Na przykład: przy znajomości azymutu i prędkości lotu - $P_{fa} = 10^{-2}$, przy znajomości tylko azymutu - $P_{fa} = 10^{-3}$, przy znajomości tylko prędkości lotu - $P_{fa} = 10^{-4}$, a przy braku danych w azymucie i prędkości lotu - $P_{fa} = 10^{-5}$. W większości wypadków znajomość parametrów lotu celu przez operatora jest niemożliwa, dlatego też często przyjmuje się prawdopodobieństwo fałszywego alarmu - $P_{fa} = 10^{-5}$. Wartości y_0 można określić z tabeli /nr 1/, w której są one przedstawione odpowiednio dla kilku przypadków prawdopodobieństwa fałszywego alarmu.

Wymagany współczynnik tłumienia k_z określa się na podstawie warunku skutecznych zakłóceń. Wartości prawdopodobieństwa wykrycia w czasie jednego obrotu anteny przedstawiają wykresy 1-4 zestawione wg wzoru /1/.

Podczas stosowania zakłóceń przeciwko wielokanałowym RLS, w których równocześnie cel jest opromieniowany przez sygnały kilku nadajników, a odbite sygnały są odbierane przez kilka odbiorników /sygnały sumują się lub są przemnożone/, prawdopodobieństwo wykrycia na tle zakłóceń określa się wg wzoru:

$$P'_{\text{wykr } 1} = 1 - (1 - P_{\text{wykr } 1})^M$$

/1'/

gdzie: $P_{\text{wykr } 1}$ - prawdopodobieństwo wykrycia podczas jednego obrotu anteny wielokanałowej RLS;

$P'_{\text{wykr } 1}$ - prawdopodobieństwo wykrycia podczas jednego obrotu anteny RLS pracującej na jednym kanale /na jednej częstotliwości/;

M - liczba kanałów równocześnie opromieniowujących cel.

Tabela 1

N	$P_{fa} = 10^{-2}$	$P_{fa} = 10^{-3}$	$P_{fa} = 10^{-4}$	$P_{fa} = 10^{-5}$
5	11,6	14,8	17,8	20,6
8	16,0	19,6	22,9	26,1
10	18,8	22,7	26,2	29,5
11	20,1	24,1	27,8	31,2
12	21,5	25,6	29,3	32,8
13	22,8	27,0	30,8	34,4
14	24,1	28,4	32,3	35,9
15	25,44	29,85	33,8	37,5
20	31,84	36,6	41,0	45,0
25	38,0	43,3	47,9	52,3
30	44,0	49,8	54,7	59,2

W tym wypadku dla określenia k_z należy, zadając $P'_{\text{wykr } 1}$ wg wzoru /1'/ lub wykresu /rys. 7/, określić $P_{\text{wykr } 1}$ a następnie - jak w przypadku jednokanałowej RLS - wg wykresów /rys. 7-10/ określić wymagany współczynnik tłumienia k_z .

Posługując się powyższym pojęciem współczynnika tłumienia, warunki skutecznego maskowania zakłóceniami szumowymi znaczników od celów można zapisać w sposób następujący:

$$P_z \geq k_z P_c$$

/3/

gdzie: P_z - moc sygnału zakłócającego na wejściu odbiornika zakłócającej stacji;

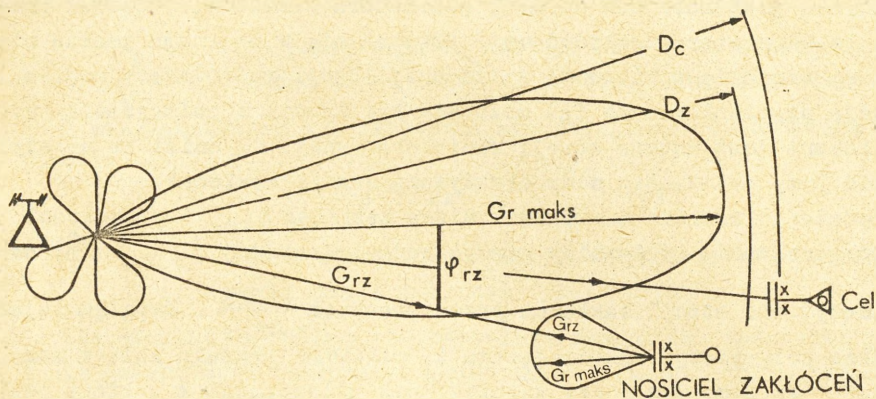
P_c - moc sygnału odbitego od celu na wejściu odbiornika zakłócającej stacji;

k_z - wymagany współczynnik tłumienia.

W czasie stosowania zakłóceń radioelektronicznych w wyniku ciągłej zmiany wzajemnego położenia nadajnika zakłóceń, stacji radiolokacyjnej

i osłanianych samolotów moce sygnału zakłócającego i sygnału użytecznego na wejściu odbiornika stacji radiolokacyjnej stale się zmieniają i tylko wówczas, gdy stosunek ich mocy /k/ jest większy od wartości k_z , zapewnia się skuteczne maskowanie celów. Dlatego też często k_z nosi nazwę współczynnika skutecznych zakłóceń.

Rozpatrzmy wartości P_z i P_c , wiążąc je z parametrami stacji, celu, nadajnika zakłóceń i ich wzajemnym rozmieszczeniem /rys. 2/.



Rys. 2. Określenie wartości P_z i P_c

Moc sygnału odbitego od celu / P_c / na wejściu odbiornika stacji radiolokacyjnej określa się zależnością:

$$P_c = \frac{P_1 G_{rc} \tilde{\zeta} \lambda^2}{4\pi^3 D_c^4} \quad /4/$$

gdzie: P_1 - moc w impulsie zakłócającej stacji radiolokacyjnej;
 G_{rc} - zysk kierunkowy anteny stacji radiolokacyjnej w kierunku na cel;
 $\tilde{\zeta}$ - skuteczna powierzchnia odbicia celu;
 λ - długość fali stacji radiolokacyjnej;
 D_c - odległość do celu.

Moc sygnału zakłóceń / P_z / na wejściu odbiornika stacji radiolokacyjnej określa się zależnością:

$$P_z = \frac{P_{ze} G_{zr} G_{rz} \lambda^2}{4\pi^2 D_z^2} \quad /5/$$

gdzie: P_{ze} - efektywna moc stacji zakłóceń;

- G_{zr} - zysk kierunkowy anteny stacji zakłóceń w kierunku na zakłócaną stację radiolokacyjną;
 G_{rz} - zysk kierunkowy anteny zakłócającej stacji radiolokacyjnej w kierunku na stację zakłóceń;
 D_z - odległość od stacji zakłóceń do zakłócającej stacji radiolokacyjnej.

Moc efektywna /skuteczna/ stacji zakłóceń występująca we wzorze /5/ jest częścią mocy promieniowanej przez generator zakłóceń. W zasadzie moc efektywna jest mniejsza od mocy generatora zakłóceń, ponieważ promieniowanie generatora zakłóceń może odbywać się w szerszym paśmie niż pasmo przepuszczania odbiornika zakłócającej stacji radiolokacyjnej, a polaryzacja promieniowanych fal może nie być zgodna z polaryzacją, na jaką obliczona jest antena stacji radiolokacyjnej. Czynniki te należy uwzględnić przy obliczaniu mocy efektywnej stacji zakłóceń.

Uwzględniając różnicę szerokości widma zakłóceń Δf_{nz} i szerokości pasma przepuszczania odbiornika stacji radiolokacyjnej $\Delta f_{DLS} \approx \frac{1}{T}$, należy pomnożyć moc stacji zakłóceń przez stosunek $\frac{\Delta f_{RLS}}{\Delta f_{nz}}$. Uwzględniając niezgodność polaryzacji zakłócającego i odbitego sygnału należy moc stacji zakłóceń pomnożyć przez współczynnik polaryzacji k_p , który jest mniejszy od jedności.

Po wprowadzeniu współczynników wyrażenie na moc efektywną P_{ze} przyjmie postać:

$$P_{ze} = P_{nz} k_p \frac{\Delta f_{RLS}}{\Delta f_{nz}} \quad /6/$$

gdzie: P_{nz} - średnia /dla zakłóceń szumowych/ lub impulsowa /dla zakłóceń impulsowych/ moc nadajnika zakłóceń.

Jednym z możliwych rodzajów zakłóceń, stosowanych przeciwko naziemnym stacjom radiolokacyjnym, są zakłócenia szumowe "pływające". Wytwarza się je za pomocą wielu generatorów wchodzących w skład stacji zakłóceń przez szybkie i ciągle przestrajanie każdego generatora zakłóceń w widmie Δf_{nz} w jednym paśmie częstotliwości ΔF_z . W tym wypadku małą liczbą generatorów zakłóceń można wytwarzać zakłócenia w szerokim zakresie częstotliwości.

Skuteczność zakłóceń "pływających" jest mniejsza niż zakłóceń szerokopasmowych szumowych generowanych przez generatory o tej samej mocy. Wynika to ze zmniejszenia mocy efektywnej stacji zakłóceń przez wielkość k_{pz} - współczynnik jakościowy zakłóceń "pływających". Wartość współczynnika jakościowego zakłóceń "pływających" wynosi:

$$k_{pz} = \begin{cases} \frac{m_z}{Q_z} & \text{dla } 1 - \frac{m_z}{Q_z} \geq 0,5 \\ 1 & \text{dla } Q_z < m_z \end{cases}$$

gdzie: m_z - liczba nadajników /generatorów/ zakłóceń w stacji zakłóceń "pływających";

$$Q_z = \frac{\Delta F_z}{\Delta f_{nz}} - \text{zapełnienie zakłóceń "pływających";}$$

ΔF_z - zakres przestrajanania każdego nadajnika zakłóceń;

Δf_{nz} - szerokość widma zakłóceń każdego nadajnika zakłóceń

Z uwzględnieniem k_{pz} efektywna moc stacji zakłóceń "pływających" wynosi:

$$P_{ze} = P_{nz} k_p \frac{\Delta f_{RLS}}{\Delta f_{nz}} k_{pz} \quad /6'/$$

gdzie: P_{nz} - średnia moc każdego nadajnika /generatora/ zakłóceń szumowych stacji zakłóceń "pływających".

Dla stosunku $\frac{m_z}{Q_z} < 0,5$ /co odpowiada szerokiemu zakresowi przestrajanania generatorów zakłóceń/ skuteczność zakłóceń "pływających" znacznie spada i ich stosowanie staje się niecelowe.

Podstawiając do wzoru /3/ wartości P_z i P_c ze wzoru /4/ i /5/ oraz wprowadzając uproszczenie, otrzymamy warunek maskowania w postaci rozwiniętej:

$$\frac{P_{ze} G_{zr} G_{rz}}{D_z^2} \geq k_z \frac{P_i G_{rc}^2 \sqrt{5}}{4 \sqrt{D_c^4}} \quad /7'/$$

Ze wzoru /7/ w oparciu o charakterystykę kierunkową zakłócaniej stacji radiolokacyjnej można wyprowadzić zależności dla określenia sektora zakłóceń skutecznych, w którego granicach zapewniony zostaje współczynnik tłumienia nie mniejszy od k_z , odpowiadający prawdopodobieństwu wykrycia nie większemu od $P_{wykr} 1$ /wzór 1/.

Jak nam wiadomo, zysk kierunkowy anteny w dowolnym kierunku $G_{\varphi\varepsilon}$ można wyrazić przez wartość maksymalną G_{maks} i funkcję opisującą znormalizowane charakterystyki kierunkowe anteny względem natężenia pola w płaszczyźnie pionowej $K/\varepsilon/$ i poziomej $K/\varphi/$ w sposób następujący:

$$G_{\varphi\varepsilon} = G_{maks} k^2 / \varphi / k^2 / \varepsilon / \quad /8'/$$

W naszym przypadku zysk kierunkowy anteny stacji radiolokacyjnej w kierunku na cel /rys. 2/ wynosi:

$$G_{rc} = G_r maks k^2 / \varphi_{rc} / k^2 / \varepsilon_{rc} /,$$

oraz w kierunku na stację zakłóceń:

$$G_{RZ} = G_r \text{ maks } k^2 / \varphi_{RZ} / k^2 / \varepsilon_{RZ} /, \quad /9/$$

gdzie: φ_{RZ} , ε_{RZ} , φ_{RC} , ε_{RC} - kąty odczytywane względem kierunku $G_r \text{ maks}$ w odpowiednich płaszczyznach.

Wartość zysku kierunkowego anteny stacji zakłóceń w kierunku na stację radiolokacyjną można określić wzorem:

$$G_{ZR} = G_z \text{ maks } k_z^2 / \varphi_{ZR} / k^2 / \varepsilon_{ZR} / \quad /10/$$

Techniczne możliwości stacji zakłóceń i stacji radiolokacyjnej przyjęto określać tak zwanym potencjałem energetycznym stacji /A/, przez który rozumiemy dla stacji radiolokacyjnej:

$$A_{RLS} = P_i G_r \text{ maks} \quad /11/$$

a dla stacji zakłóceń:

$$A_{nz} = P_{ze} G_{ZR} \quad /12/$$

Stacje zakłóceń do obezwładniania RLS wykrywania i naprowadzania mają zwykle anteny bezkierunkowe w płaszczyźnie poziomej i o niewielkiej kierunkowości w płaszczyźnie pionowej. Dlatego też w większości wypadków można przyjąć, że zysk kierunkowy anteny stacji zakłóceń w kierunku na RLS praktycznie się nie zmienia i równa się średniej wielkości $/G_{ZR} = G_z \approx 0,5 G_z \text{ maks}/$ podanej w formularzach stacji.

Wprowadzając oznaczenia potencjałów energetycznych nadajnika zakłóceń i stacji radiolokacyjnej, a następnie podstawiając wyrażenia: /8/, /9/, /11/ i /12/ do równania /7/ otrzymamy:

$$\frac{A_{nz} k^2 / \varphi_{RZ} / k^2 / \varepsilon_{RZ} /}{D_z^2} \gg k_z \frac{A_{RLS} k^4 / \varphi_{RC} / k^4 / \varepsilon_{RC} /}{4 \sqrt[4]{D_c^4}} \quad /13/$$

W wyrażeniu /13/ wartość $k / \varphi_{RZ} /$ i $k / \varepsilon_{RZ} /$ określają granicę sektora skutecznych zakłóceń w płaszczyźnie poziomej $k / \varphi_{RZ} /$ i pionowej $k / \varepsilon_{RZ} /$ przy danych położeniach kątowych celu względem maksimum charakterystyki kierunkowej anteny $k / \varepsilon_{RC} /$ $k / \varphi_{RC} /$ i odległościach do celu $/D_c /$ i stacji zakłóceń $/D_z /$.

Z wyrażenia /13/ można określić dla różnych wzajemnych położzeń celu względem stacji zakłóceń wartości $k / \varphi_{RZ} /$ i $k / \varepsilon_{RZ} /$, przy których zapewnia się maskowanie celu przez stację zakłóceń. Posługując się znormalizowaną charakterystyką kierunkową anteny stacji radiolokacyjnej /wykresami zależności zmian $k / \varphi /$ od kąta φ i $k / \varepsilon /$ od kąta ε /rys. 3, 4/, wg znanych współczynników $k / \varphi_{RZ} /$ i $k / \varepsilon_{RZ} /$ można określić wielkość sektorów zakłóceń skutecznych w płaszczyźnie poziomej α_{ef} i pionowej β_{ef} .

Podczas stosowania zakłóceń naziemnych RLS wykrywania, naprowadzania i wskazywania celów jako kryterium efektywności zakłóceń można przyjąć wielkość prawdopodobieństwa wykrycia celu w warunkach zakłóceń $P_{wykr. z}$. Należy podkreślić, że prawdopodobieństwo wykrycia celu w czasie kilku obrotów anteny jest większe od prawdopodobieństwa wykrycia znacznika od celu w czasie jednego obrotu anteny.

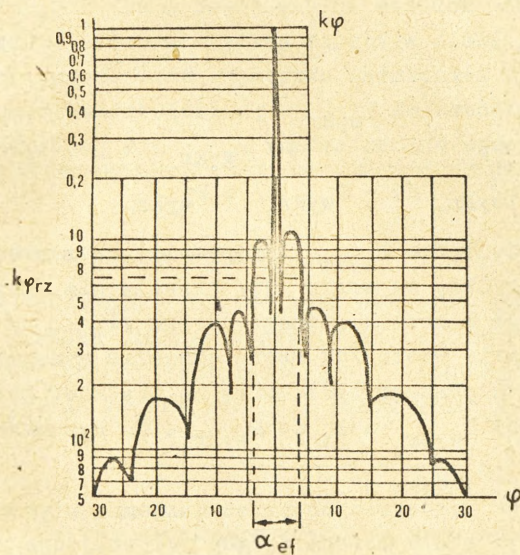
Dlatego też za prawdopodobieństwo wykrycia można przyjąć prawdopodobieństwo tego, że podczas "n" obrotów anteny znacznik celu pojawi się nie mniej niż "m" razy. Można je obliczyć wg wzoru:

$$P_{wykr} = \sum_{i=m}^n P_{wykr} / i, n/ \quad /14/$$

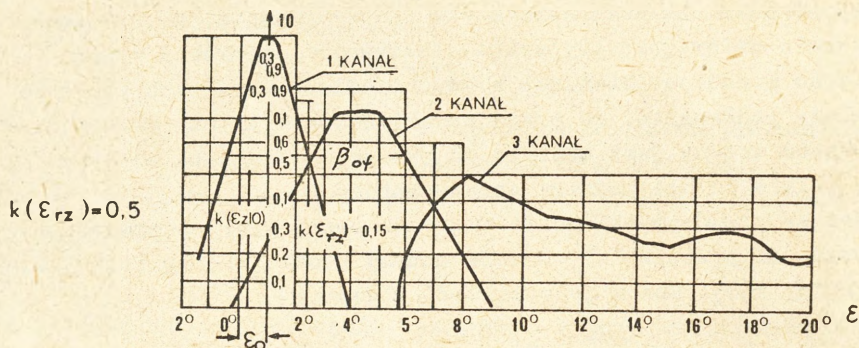
gdzie: $P_{wykr} / i, n/ = \frac{n^i}{1 - 1/n} - 1/1 - P_{wykr} / 1/^{n-1}$

jest prawdopodobieństwem tego, że znacznik pojawi się podczas n obrotów /i = m, /m + 1/, /m + 2/, n/.

Ścisłe określone wartości m i n powinny być wybrane z uwzględnieniem właściwości pracy zakłócanej RLS.



Rys. 3. Określenie α_{ef} według $k/\varphi_{rz}/$



Rys. 4. Określenie β_{of} według k/ϵ_{rz}

Wartości m i n mogą być w przybliżeniu określane na podstawie następujących rozważań. Z doświadczeń w pracy naziemnych RLS można wywnioskować, że znacznik od celu na ekranie wskaźnika obserwuje się stabilnie, jeśli pojawi się on minimum jeden raz podczas dwóch obrotów anteny. Prowadzenie celów można uważać za pewne, jeśli przerwy w wykrywaniu celu nie przekraczają 30 sek. W związku z tym, że większość stacji wykrywania posiada prędkość obrotów anteny rzędu 6 obr/min, można przyjąć za wystarczające, jeśli wykrycie nastąpi w dwóch z trzech obrotów. Wychodząc z takiego założenia, otrzymamy wzór wiążący prawdopodobieństwo wykrycia w zakłóceniach P_{wykr} z prawdopodobieństwem wykrycia znacznika podczas jednego obrotu anteny P_{wykr_1} w postaci:

$$P_{wykr_z} = 3 P_{wykr_1}^2 / 1 - P_{wykr_1} + P_{wykr_1}^3 \quad /15/$$

W ten sposób zadając niezbędne P_{wykr_z} , zapewniające skuteczne pokonanie systemu OP przeciwnika, wg wzoru /15/ określa się niezbędne prawdopodobieństwo wykrycia w czasie jednego obrotu $/P_{wykr_1}/$, a wg wartości P_{wykr_1} na podstawie wzoru /1/ można określić wymagany współczynnik tłumienia k_z . Dla szybszego obliczenia należy mieć gotowe wykresy zależności P_{wykr_1} od P_{wykr_z} i k_z od P_{wykr_1} . Na rysunkach 7-12 pokazane są zależności k_z od P_{wykr_1} .

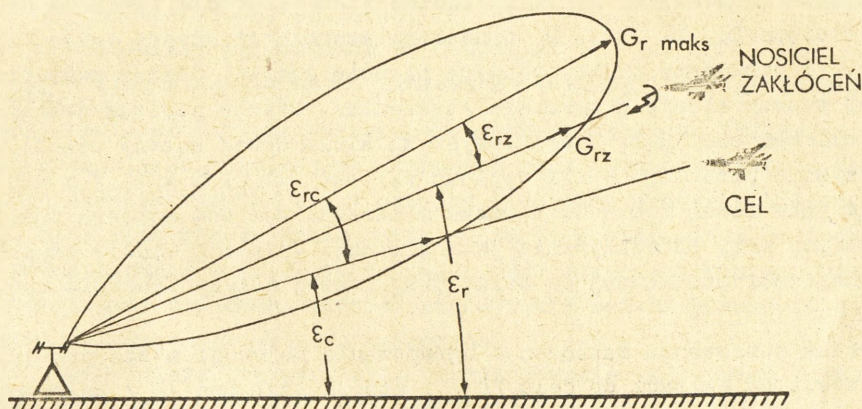
Podczas wykrywania celów powietrznych przez naziemne stacje wykrywania znacznik celu określa się w momencie, gdy cel znajduje się na kierunku maksimum charakterystyki kierunkowej anteny stacji radiolokacyjnej w płaszczyźnie poziomej, tj. wówczas, gdy $k/\varphi_{rc}/ = 1$. Przy maskowaniu celów powietrznych interesuje nas sektor zakłóceń skutecz-

nych w płaszczyźnie poziomej. W tym celu rozwiążmy równanie /13/ dla wartości $k/\varphi_{rz}/$:

$$k/\varphi_{rz}/ = \frac{D_z k^2 / \varepsilon_{rz}/}{D_c^2 k / \varepsilon_{rz}/} \sqrt{\frac{k_z \delta_c A_{RLS}}{4\pi A_{nz}}} \quad /16/$$

Otrzymany wzór jest wygodny do obliczenia szerokości sektora zakłóceń skutecznych w wypadku, gdy stacja zakłóceń i osłaniane cele powietrzne znajdują się na różnych odległościach od stacji radiolokacyjnej i są widoczne przez nią pod różnymi kątami, tj. nadajnik samoloty zakłóceń znajduje się poza maskowanym ugrupowaniem bojowym.

Wzór /16/ wskazane jest wykorzystywać przy obliczeniach na użycie aktywnych środków zakłóceń stosowanych z oddzielnych stref zakłócania.



Rys. 5. Określenie P_z i P_c

Przy dokładnych obliczeniach sektorów skutecznych zakłóceń wartości $k/\varepsilon_{rz}/$ określa się na podstawie charakterystyki kierunkowej anteny zakłócanej stacji radiolokacyjnej, wychodząc z kąta położenia samolotu zakłócającego ε_z na rys. 5/, który może być obliczony według wzoru:

$$\varepsilon_z = 57,3 \frac{H_z}{D_z} - \frac{D_z}{220} \quad /17/$$

gdzie: D_z - odległość pochyła do stacji zakłóceń /km/;
 H_z - wysokość lotu samolotu zakłócającego /km/.

W zależności od wysokości lotu ugrupowania bojowego H_{ub} według wzoru /17/ dla różnych odległości od celu D_c określa się kąt położenia celu ε_c /, następnie na podstawie znormalizowanej charakterystyki wartości $k/\varepsilon_{rc}/$ i według wzoru /16/ wartość $k/\varphi_{rz}/$.

Na podstawie wartości $k/\varphi_{rc}/$ i charakterystyki znormalizowanej stacji określa się sektory zakłóceń skutecznych dla różnych odległości osłanianych samolotów do zakłócającej stacji radiolokacyjnej.

W celu poglądowego przedstawienia możliwości osłony przez stację zakłóceń ze strefy wskazane jest na mapie /schemacie/ zobrazować strefy osłony, wewnątrz których prawdopodobieństwo wykrycia celów przez zakłócającą RLS nie przewyższa zadanej wielkości. W tym celu, zadając kilka wartości $D_c = D_1, D_2 \dots D_n$ w granicach od D_{wykr} do $D_2 \min$, według wzoru /16/ pokazaną metodą określa się wartości sektorów zakłóceń skutecznych: $\alpha_{ef1}, \alpha_{ef2} \dots, \alpha_{efn}$, i na ich podstawie - liniowe rozmia-
ry strefy osłony:

$$l_1 = \frac{D_z \alpha_{ef1}}{57,3} \dots l_n = \frac{D_n \alpha_{efn}}{57,3}$$

Na mapie /schemacie/ na linii łączącej RLS i stację zakłóceń na odległościach $D_1, D_2 \dots D_n$ oznaczamy szerokości strefy zakłóceń $l_1, l_2 \dots l_n$ i otrzymane punkty łączymy płynnie krzywą. Obszar wewnątrz krzywej tworzy strefę przykrycia /zakłóceń/. Często podczas dokonywanych obliczeń brak jest charakterystyki kierunkowej anteny stacji w płaszczyźnie pionowej. W tym wypadku wartość $k/\varepsilon_{rc}/$ i $k/\varepsilon_{rz}/$ można przyjąć jako równą 0,8 - 1. Wówczas minimalna wartość sektora zakłóceń skutecznych przy oddziaływaniu jednej stacji zakłóceń będzie odpowiadać odległości minimalnej do celu, przy której należy zapewnić maskowanie.

Podczas stosowania zakłóceń z ugrupowania bojowego można przyjąć, że wartości odległości do celu $/D_c/$ i stacji zakłóceń $/D_z/$ są równe:

$$D_c = D_z = D \quad /18/$$

a kąty położenia stacji zakłóceń i celu będą wynosić:

$$k/\varepsilon_{rc}/ = k/\varepsilon_{rz}/ = k/\varepsilon/ \quad /19/$$

i wyrażenie dla $k/\varphi_{rz}/$ przyjmie postać:

$$k/\varphi_{rz}/ = \frac{k/\varepsilon/}{D} \sqrt{\frac{k_z \sigma_c A_{RLS}}{4 \pi A_{nz}}} \quad /20/$$

W tym wypadku - jak i przy wytwarzaniu zakłóceń ze strefy, gdy brak jest znormalizowanych charakterystyk w płaszczyźnie pionowej - $k/\varepsilon/$ można przyjąć równe 0,8 - 1. Po obliczeniu $k/\varphi_{rc}/$ i określeniu α_{ef} dla różnych odległości do zakłócających RLS można określić strefę, w której zapewnia się osłonę ugrupowania bojowego. Ten sposób określenia strefy wiąże się z dużymi trudnościami, dlatego też niezbędną ilość sił i środków do osłony ugrupowania bojowego oblicza się dla najtrudniejszych warunków /minimalnej odległości do stacji zakłócających $D = D_{\min}/$, które

wybiera się wychodząc z taktycznych założeń. W tym wypadku dla odległości $D = D_{\min}$ według wartości k/φ_{rz} i znormalizowanej charakterystyki kierunkowej anteny stacji radiolokacyjnej w płaszczyźnie poziomej określa się sektor zakłóceń skutecznych wytwarzanych przez jedną stację radiolokacyjną. Następnie określa się odległości liniowe między źródłami zakłóceń w ugrupowaniu bojowym i liczbą stacji zakłóceń w każdym źródle.

Określenia liczby źródeł zakłóceń dokonuje się drogą porównywania rozmiarów ugrupowania bojowego z wymaganymi odległościami między źródłami zakłóceń, które określone są sektorem zakłóceń skutecznych. Wykorzystujemy do tego wzór:

$$N = \frac{l}{l_z \min} \quad /21/$$

gdzie: N - liczba źródeł zakłóceń;

l - rozmiary ugrupowania bojowego;

$l_z \min$ - minimalna szerokość liniowa sektora zakłóceń skutecznych.

Jeśli wielkość liniowa sektora skutecznych zakłóceń obliczona dla jednej stacji jest mniejsza od liniowych rozmiarów ugrupowania bojowego, to dla maskowania należy przyjąć nie jedno źródło zakłóceń, lecz kilka. Taki stan rzeczy wymaga uwzględnienia w obliczeniach jednoczesnego oddziaływania na zakłócaną stację radiolokacyjną minimum dwóch sąsiednich źródeł zakłóceń. Oddziaływanie takie będzie prowadzić do rozszerzenia skutecznego sektora zakłóceń.

Jeśli przyjmiemy niekoherentne promieniowanie sąsiednich stacji zakłóceń, to będziemy mieć do czynienia z jakby podwojeniem mocy efektywnej stacji obliczanej wg wzorów /16/ i /20/. Zagadnienie to można rozpatrywać w kategoriach sumarycznego sektora skutecznych zakłóceń $\alpha_{ef\Sigma}$ na podstawie znormalizowanej charakterystyki dla wartości $k/\varphi_{rz} = 0,7$ k/β_{rz} . W tym wypadku do obliczenia liczby źródeł zakłóceń można wykorzystać wzór /21/, w którym w miejsce $l_z \min$ można wstawić wyrażenie:

$$l_z \min = \frac{D_{\min} \alpha_{ef\Sigma}}{57,3}$$

Wiadomo, że odstęp między źródłami zakłóceń powinny wynosić $l_z \min$. Liczba stacji /generatorów/ zakłóceń w składzie każdego źródła jest różna i zależy od sposobu ich stosowania oraz typu stacji zakłóceń, a także od tego, z jakiej liczby stacji, w jakim zakresie częstotliwości i przestrzennym sektorze należy wytwarzać zakłócenia. W wypadku stosowania zakłóceń selektywnych i kierunkowych niezautomatyzowanymi stacjami zakłóceń ich liczbę w źródle określa się liczbą równocześnie

zakłócanych RLS. Podczas stosowania zakłóceń szerokopasmowych niekierunkowych liczbę generatorów zakłóceń określa się ze stosunku wymaganego pokrycia pasma częstotliwości do pasma zakłóceń wytworzonego przez jeden generator i pomnożonego przez wymagany współczynnik wzajemnego przykrycia $/k_m = 0,1 - 0,15/$.

$$m_0 = \frac{f_{maks} - f_{min}}{/1-k_m/ \Delta f_{nz}}$$

gdzie: m_0 - liczba nadajników zakłóceń wymagana dla pokrycia pasma zakłóceń $f_{maks} - f_{min}$ przy szerokości zakłóceń Δf_{nz} .

2. WARUNKI SKUTECZNOŚCI I SPOSOBY STOSOWANIA ZAKŁÓCEŃ CZYNNYCH PRZECIWKO STACJOM RADIOLOKACYJNYM Z AUTOMATYCZNYM ŚLEDZENIEM CELÓW

Do stacji radiolokacyjnych z automatycznym śledzeniem celów należą: RLS śledzenia celów przeciwlotniczych rakiet kierowanych metodą dowódczą, RLS opromieniania celów przeciwlotniczych rakiet kierowanych z półaktywnym samonaprowadzaniem, RLS przechwytywania i przycelowania samolotów myśliwskich, RLS kierowania uzbrojeniem samolotów oraz RLS koordynatorów pocisków "ziemia - powietrze" i "powietrze - powietrze".

Stacje te są z reguły zakłócone przez pokładowe nadajniki zakłóceń. Dla wytworzenia zakłóceń skutecznych, tj. takich, pod wpływem których w układach samonaprowadzania powstałyby błędy powodujące zmniejszenie prawdopodobieństwa rażenia do odpowiedniej wielkości lub zerwanie samonaprowadzania, należy spełnić minimum dwa warunki:

- struktura zakłóceń na częstotliwości nośnej i odpowiedni rodzaj modulacji powinny spowodować błędy w pracy koordynatora;
- sygnał zakłócający powinien być znacznie większy od sygnału użytecznego na wejściu urządzenia odbiorczego.

Warunek pierwszy wymaga użycia kilku specjalnych stacji zakłóceń lub jednej stacji pracującej w różnych rodzajach pracy. Pokrywanie się częstotliwości pracy stacji zakłóceń i stacji zakłóconej oraz znacznie większa moc stacji zakłóceń w porównaniu ze stacją zakłócaną nie świadczy jeszcze o tym, że zakłócenia będą skuteczne. Aby spełnić drugi warunek - podobnie jak dla rozpatrywanych wcześniej wypadków stosowania zakłóceń maskujących przeciwko RLS wykrywania - należy również zapewnić przewyższenie mocy sygnału zakłóceń nad sygnałem użytecznym na zadanej odległości, nazywane współczynnikiem tłumienia.

Przy stosowaniu zakłóceń RLS z automatycznym śledzeniem celów współczynnikiem tłumienia /skutecznych zakłóceń/ k_z nazywać więc będziemy stosunek mocy zakłóceń do mocy sygnału użytecznego na wejściu odbior-

nika RLS, zapewniający wymaganą skuteczność zakłóceń /zerwane samonaprowadzanie lub błąd w samonaprowadzaniu zmniejszający prawdopodobieństwo rażenia do wymaganej wielkości/.

Rozpatrzmy skuteczność niektórych rodzajów zakłóceń najczęściej stosowanych przez współczesne środki zakłócające.

Zakłócenia szumowo - odzewowe są stosowane przeciwko impulsowym stacjom radiolokacyjnym, w których automatyczne śledzenie w kierunku dokonuje się kosztem sygnału podawanego z układu automatycznego śledzenia w odległości.

Do tego typu stacji należą: RLS śledzenia celów przeciwlotniczych zestawów raketowych /PZR/, samolotowe RLS przechwytywania i przycelowania oraz RLS naprowadzania dział przeciwlotniczych. Oddziaływanie zakłóceń szumowo-odzewowych na PZR, w których naprowadzanie rakiet odbywa się metodą dowódczą, oraz na RLS naprowadzania dział przeciwlotniczych powoduje powstawanie błędów w pomiarze odległości do celu, co zmusza do przejścia w reżym półautomatycznego naprowadzania metodą trzech punktów.

Podczas stosowania tego rodzaju zakłóceń przeciwko RLS przechwytywania i przycelowania oraz strzelania niekierowanymi raketami wyklucza się możliwość określenia odległości do celu, tj. momentu wystrzelenia rakiety. Może to prowadzić do zerwania strzelania, jeśli brak jest innych metod określania odległości.

Zakłócenia szumowe przerywane powodują przerwy w przychodzeniu informacji do kanałów określania kąta położenia, a to z kolei powoduje zwiększenie uchybu rakiety.

Spełnienie kryterium skuteczności takich zakłóceń wymaga odpowiednio dużej mocy nadajnika zakłóceń dla zerwania automatycznego śledzenia z zadanyą prawdopodobieństwem na minimalnej odległości tłumienia $/D_{\min}/$ przy zapewnieniu niezbędnego współczynnika tłumienia k_z . W celu określenia kryterium skuteczności w tym wypadku należy porównać odległość minimalną tłumienia stacji zakłóceń $/D_{z \min}/$ z niezbędną wielkością D_{\min} . Jeśli spełniona zostanie nierówność:

$$D_{z \min} \leq D_{\min} \quad /22/$$

to nadajnik zakłóceń jest skuteczny.

Wartość minimalnej odległości tłumienia można określić ze wzoru /13/ uwzględniając w tym wypadku:

$$D_c = D_z = D_{z \min}; \quad k/\varphi_{rc}/ = k/\varphi_{rz}/; \quad k/\varepsilon_{rc}/ = k/\varepsilon_{rz}/$$

$$D_{z \min} = k/\varphi_{rc}/ \cdot k/\varepsilon_{rc}/ \sqrt{\frac{k_z A_{RLS} G_c}{4\pi A_{nz}}} \quad /23/$$

Dokładną wartość $D_z \min$ można określić na podstawie przytoczonego wzoru /23/, znając, przy jakich wartościach charakterystyki kierunkowej istnieje jeszcze możliwość prowadzenia celów przez zakłócaną RLS.

W większości wypadków prowadzenie celów odbywa się ze stożkowym przeszukiwaniem na poziomie 0,7 względem napięcia, tj. przy warunku gdy $k/\varphi_{rz}/i$; $k/\varepsilon_{rz}/ \approx 0,7$. W tym wypadku minimalna odległość zakłócania:

$$D_z \min = 0,7 \sqrt{\frac{k_z A_{RLS} \sigma_c}{4 \pi A_{nz}}} \quad /24/$$

Współczynnik tłumienia k_z określa się podobnie jak dla zakłóceń maskujących. Orientacyjnie dla zerwania automatycznego śledzenia z prawdopodobieństwem równym jedności k_z powinno być w granicach $2 \div 3$.

Minimalną niezbędną odległość tłumienia $/D_z \min/$ określa się z warunku niemożliwości prowadzenia celnego ognia. Od tej odległości zakłócenia przestają być skuteczne.

Określa się je uwzględniając dane środków ogniowych i metody ich stosowania. Sposób jej określania podany jest w rozdziale 3.

Przy stosowaniu zakłóceń szumowych przerywanych z różnymi rodzajami zakłóceń, zakłócenia te wykorzystuje się do zerwania selektywnego śledzenia celu w odległości. Zapewnia to również skuteczność pozostałych rodzajów zakłóceń, wchodzących w ich kombinację.

Zakłócenia odzwonowe modulowane z częstotliwością przeszukiwania /wirowania/ są skuteczne przeciw RLS z wybieraniem stożkowym, które znajdują zastosowanie w samolotowych stacjach przechwytywania i przy-celowania. Ze względu na charakter promieniowania rozpatrywane zakłócenia mogą być zarówno impulsowe, jak i ciągle szumowe. Wywołują one błąd w pomiarze kąta położenia systemu automatycznego śledzenia. Wartości amplitudy tego odchylenia można określić wzorem:

$$\Delta \theta_{\text{odch}} = \frac{1}{5,6} \cdot \frac{\theta_{0,5}^2}{\theta_0} \ln \frac{1+A}{1-A} \quad /25/$$

gdzie: $A = m_z \frac{k_z}{1+k_z}$

$\Delta \theta_{\text{odch}}$ - błąd kątowy automatycznego śledzenia;

$\theta_{0,5}$ - szerokość charakterystyki kierunkowej RLS na połowie mocy;

θ_0 - kąt między równosygnałowym kierunkiem, a kierunkiem maksimum charakterystyki kierunkowej RLS śledzenia /zwykle kątowe odchylenie od osi równosygnałowej w kierunku wynosi $/0,3 - 0,5/ \theta_{0,5}/$;

m_z - współczynnik modulacji sygnału zakłóceń częstotliwością wirowania /zwykle $m_z = 0,8 - 1$ /;

k_z' - stosunek napięciowy sygnału zakłóceń do sygnału użytecznego na wejście odbiornika RLS.

Oceny skuteczności stosowania tego rodzaju zakłóceń dokonuje się na podstawie wielkości błędu kąтового śledzenia, wywołanego przez oddziaływanie stacji zakłóceń na minimalnej odległości tłumienia RLS. Za minimalną odległość tłumienia pokładowych RLS myśliwców przyjmuje się odległość wystrzeliwania niekierowanych rakiet klasy "powietrze - powietrze" lub prowadzenia ognia z działek myśliwca. Kątowy błąd śledzenia /odpalenie rakiety lub wystrzelenie pocisku/ można określić prawdopodobieństwem rażenia samolotu wyposażonego w stację zakłóceń. Jeśli przesunięcie kątowe względem osi strefy równosygnałowej osiąga wielkość $/0,8 - 1,0/ \odot_{0,5}$, to znaczy, że zakłócana RLS zostaje wytrącona z reżymu automatycznego śledzenia.

Dla oceny skuteczności zakłóceń należy określić stosunek napięcia zakłóceń do sygnału użytecznego zapewniony przez stację zakłóceń na minimalnej odległości do RLS przechwytywania. Wartość tego stosunku można otrzymać z równania /26/ w postaci:

$$k_z' = \frac{D_{\min}}{0,7} \sqrt{\frac{4 \pi A_{nz}}{A_{RLS} \sigma c}} \quad /26/$$

Jeśli $k_z' > 1$, to zakłócenia są skuteczne.

Zakłócenia odzewowe modulowane szumem małej częstotliwości mogą być stosowane przeciwko koordynatorom pomiaru kąta pracującym z przeszukiwaniem stożkowym wiązki antenowej, jeśli częstotliwość przeszukiwania nie jest dokładnie znana /ale znany jest zakres, w którym może znajdować się częstotliwość przeszukiwania/. Najbardziej celowe jest stosowanie takich zakłóceń przeciwko koordynatorom raketowych pocisków z półaktywnym systemem samonaprowadzania. Wartość średnia kwadratowego kąтового błędu śledzenia przez koordynator podczas oddziaływania rozpatrywanych zakłóceń może być obliczona według wzoru /25/, w którym wielkość A określa się wyrażeniem:

$$A = m_z \frac{k_z'}{1 + k_z'^2} \frac{2 \Delta F_k}{\Delta F_z} \quad /27/$$

gdzie: ΔF_k - szerokość pasma przepuszczania kanału pomiaru kąta zakłócanego koordynatora /dla współczesnych koordynatorów wynosi $2 - 2,5$ Hz/;

ΔF_z - pasmo zakłóceń szumu małej częstotliwości;

$$k_z' = \frac{D_c}{0,7} \sqrt{\frac{4\pi A_{nz}}{A_{RLS} G_c}} \quad /27/$$

m_z - skuteczna wartość współczynnika modulacji szumu małej częstotliwości / $m_z = 0,9 \div 1$ przy modulacji szumem małej częstotliwości/.

Podobnie jak i w poprzednim wypadku należy określić skuteczność zakłóceń koordynatora z pólaktywnym samonaprowadzaniem. W tym celu należy najpierw obliczyć wymagany stosunek sygnału zakłóceń do sygnału użytecznego na wejściu odbiornika koordynatora. Sygnał użyteczny określa się w punkcie odbioru przez koordynator sygnałów odbitych od celów emitowanych przez stację opromieniowania celów:

$$P_c = \frac{P_i G_{rc} G_{kz} G_c \lambda^2}{/4\pi/^3 D_c D_{ck}} \quad /28/$$

Sygnał zakłócający określa się wielkością:

$$P_z = \frac{P_{zc} G_{zk} G_{kz} \lambda^2}{/4\pi/^2 D_{ck}^2} \quad /29/$$

gdzie: G_{rc} - współczynnik zysku kierunkowego RLS opromieniowania celu w kierunku na cel;
 G_{kz} - współczynnik zysku kierunkowego koordynatora w kierunku na stację zakłóceń;
 G_{zk} - współczynnik zysku kierunkowego anteny stacji zakłóceń w kierunku na koordynator;
 D_c - odległość od celu do RLS opromieniowania celu;
 D_{ck} - odległość od celu do koordynatora.

Stosunek sygnału zakłócającego do sygnału użytecznego w kierunku na koordynator wynosi:

$$k' = \frac{U_z}{U_s} = \frac{P_z}{P_s} = D_c \sqrt{\frac{4\pi P_{ze} G_{zk}}{P_i G_{rc} G_c}} \quad /30/$$

Zamieniając $P_{ze} G_{zk} = A_{nz}$ i $P_i G_{rc} = A_{RLS} k^2 / \varphi_{rc} / k^2 / \varepsilon_{rc} /$ i przyjmując $k / \varphi_{rc} /$, $k / \varepsilon_{rc} / = 0,7$ /śledzenie przez RLS opromieniowania przyjmuje się na poziomie połowy mocy/, otrzymujemy:

$$k_z' = \frac{D_c}{0,7} \sqrt{\frac{4\pi A_{nz}}{A_{RLS} G_c}} \quad /31/$$

Z wyrażenia /31/ wynika, że stosunek sygnału zakłóceń do sygnału użytecznego na wejściu odbiornika koordynatora przy samonaprowadzaniu

półaktywnym nie zależy od odległości między celem i koordynatorem pocisku, lecz określony jest stosunkiem potencjałów energetycznych stacji zakłóceń i RLS opromieniowania celów oraz odległością od celu do stacji opromieniowania.

Przy obliczaniu skuteczności tego rodzaju zakłóceń wartość k_z' należy wyliczyć wg wzoru /31/, podstawiając do niego zamiast D_c minimalną odległość do stacji opromieniowania celu w momencie spotkania się rakiety z samolotem /celem/.

We wzorach /26/ i /31/ podczas wytwarzania zakłóceń szumowych, modulowanych częstotliwością przeszukiwania lub szumem małej częstotliwości, A_{RLS} i A_{nz} oblicza się wg wzorów /11/ i /12/, natomiast w wypadku wytwarzania zakłóceń odzewowych /impulsowych lub ciągłych/ określone są wzorami:

$$A_{RLS} = P_1 G_r \text{ maks} \quad i \quad A_{nz} = P_{nz} G_{zk} k_p$$

Zakłócenia szumowe "migające" wytwarza się przez przerywanie na przemian emisji źródeł zakłóceń rozmieszczonych na dwu samolotach leżących w ugrupowaniu bojowym "para samolotów".

Podczas oddziaływania zakłóceń "migających" na RLS zwiększa się kąt rozróżnienia samolotów ze źródłami zakłóceń, co prowadzi do zmniejszenia odległości celnego przycelowania rakiet odpowiadającej odległości rozróżnienia źródeł zakłóceń. Podczas oddziaływania zakłóceń "migających" na koordynatory radiolokacyjne rakiet "powietrze - powietrze" i "ziemia - powietrze" po rozróżnieniu źródeł zakłóceń we współrzędnych kątowych rakiet naprowadza się na jedno ze źródeł zakłóceń z początkowym błędem kątowym, którego średnie wartości wynoszą połowę kąтового rozmiaru bazy pomiędzy źródłami zakłóceń w momencie ich rozróżniania. Wybór początkowego błędu kąтового przez układy śledzenia prowadzi do uchybu rakiety.

Wielkość uchybu rakiety- d_u - otrzymana w rezultacie oddziaływania zakłóceń "migających", może być określona w sposób następujący /rys. 6/: w momencie rozróżniania źródeł zakłóceń rakiet zaczyna wybierać błąd naprowadzania skierowując się na samolot z maksymalnym przeciążeniem ng . Podczas zbliżania do samolotu rakiet zdaży wybrać błąd:

$$h = a \frac{ng t_{zbl}^2}{2} \quad /32/$$

gdzie:

t_{zbl} - czas zbliżania rakiety do samolotu;

a - współczynnik uwzględniający bezwładność rakiety

$/a = 0,5 \div 0,7/;$

n - współczynnik przeciążenia rakiety;

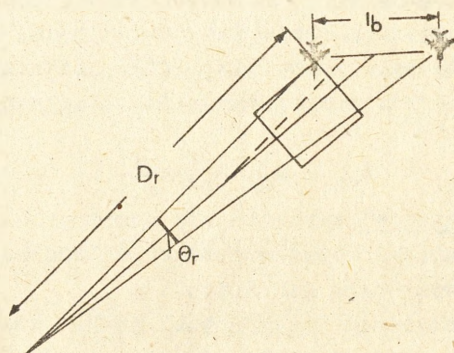
g - przyspieszenie ziemskie $9,81 \text{ m/s}^2$.

Czas zbliżenia rakiety do samolotu wynosi:

$$t_{zbl} = \frac{D_r}{V_{zbl}} \quad /33/$$

gdzie: D_r - odległość od rakiety do samolotu w momencie rozróżniania źródeł zakłóceń;

V_{zbl} - prędkość zbliżenia rakiety do samolotu.



Rys. 6. Określenie uchybu rakiety podczas stosowania zakłóceń "migających"

Oddalenie rakiety od samolotu bliższego w momencie rozróżniania może być z dostateczną dokładnością określone z wyrażenia /rys. 6/:

$$D_r = \frac{l}{\theta_r} \quad /34/$$

gdzie: l - liniowe rozmiary bazy źródeł zakłóceń l_b w kierunku prostopadłym do linii wizowania źródeł zakłóceń przez raketę w momencie rozróżniania źródeł zakłóceń;

θ_r - kąt rozróżniania samolotów ze stacjami zakłóceń.

Podstawiając w wyrażenie /32/ wartość t_{zbl} ze wzoru /33/ i /34/, otrzymamy wyrażenie dla h w postaci:

$$h = a \frac{ng}{2} \cdot \left/ \frac{l}{\theta_r V_{zbl}} \right/ ^2 \quad /35/$$

Uchyb rakiety na skutek oddziaływania zakłóceń "migających" określa się wyrażeniem:

$$d_u = \frac{1}{2} - h = \frac{1}{2} - a \frac{ng}{2} \left/ \frac{l}{\theta_r V_{zbl}} \right/ ^2 \quad /36/$$

Jeśli atak rakiety wykonuje się pod kątem q do kierunku lotu źródeł

zakłóceń, to przy niewielkich wartościach kąta rozróżniania można przyjąć:

$$l = l_b \cos q \quad /37/$$

gdzie: l_b - odległość /baza/ między źródłami zakłóceń.

• Uwzględniając wzór /32/, wielkość uchybu rakiety można określić z wyrażenia:

$$d_u = 0,5 l_b \cos q - a n g / \frac{l_b \cos q}{\Theta_r v_{zbl}} /^2 \quad /38/$$

gdzie: l_b - odległość między samolotami z nadajnikami zakłóceń /m/;

n - współczynnik przeciążenia rakiety;

v_{zbl} - prędkość zbliżania rakiety do samolotu / m/s /;

Θ_r - kąt rozróżnienia źródeł zakłóceń /stopnie/;

a - współczynnik uwzględniający bezwładność rakiety / $a=0,5-0,7$ /;

q - kąt między linią lotu rakiety i kierunkiem lotu samolotów;

g - $9,81 \text{ m/sek}^2$ przyspieszenie ziemskie.

Analiza wzoru /38/ określającego uchyb rakiety przy stosowaniu zakłóceń "migających" wskazuje, że istnieje taka odległość optymalna między samolotami, przy której uchyb rakiety osiągnie maksymalną wielkość. Odległość optymalną l_{opt} określa się wyrażeniem:

$$l_{opt} = \frac{\sqrt{v_{zbl} \Theta_r} /^2}{2a n g \cos q} \quad /39/$$

Maksymalna wartość uchybu rakiety wyniesie:

$$d_{u \text{ maks}} = 0,25 l_{opt} \cos q = \frac{\sqrt{v_{zbl} \Theta_r} /^2}{8a n g} \quad /40/$$

Kąt rozróżnienia źródeł zakłóceń "migających" przy małych częstotliwościach migotania /częstotliwość migotania mniejsza od pasma częstotliwości systemu śledzącego koordynatora - $F_k = 2 \div 2,5 \text{ Hz}$ /dla synchronicznego i niesynchronicznego "migotania" zależy od stosunku sygnału zakłócającego do sygnału użytecznego na wejściu koordynatora i może być określony według wzoru:

$$r = \frac{4\Theta_{0,5}}{1} \arccos \sqrt{\frac{0,5}{k_z + 1}} \quad /41/$$

gdzie: $\Theta_{0,5}$ - szerokość charakterystyki kierunkowej anteny koordynatora na połowie mocy;

k_z - stosunek mocy sygnału zakłócającego do sygnału użytecznego na wejściu odbiornika koordynatora;

$$k_z = \frac{P_z}{P_s} \quad \text{wej. odb.}$$

Wielkość $k_z' = /k_z/2$ dla rakiety naprowadzanej metodą półaktywną może być określona według wzoru /31/, w którym zamiast D_z można podstawić odległość od samolotu do stacji opromieniowania celu w momencie spotkania się rakiety z samolotem.

Obliczenia według wzoru /41/ pokazują, że przy stosunku mocy zakłóceń do mocy sygnału użytecznego na wejściu odbiornika $k_z = 2 \div 4$ kąt rozróżniania źródeł zakłóceń "migających" $\theta_r = /1,45 \div 1,6/0,5$. Przy większych poziomach zakłóceń $/k_z/ > 50/$ kąt rozróżnienia zbliża się do maksymalnego możliwego i równego podwójnej szerokości charakterystyki kierunkowej anteny koordynatora.

Zakłócenia odzewowe uwodzące w odległości mogą być stosowane przeciwko koordynatorom radiolokacyjnym rakiet, pracującym na zasadzie wykorzystania efektu Dopplera przy ciągłym promieniowaniu. Oddziaływanie tego rodzaju zakłóceń polega na tym, że nadajnik zakłóceń zamontowany na samolocie promieniuje sygnał opromieniowania celu z okresową zmianą w częstotliwości według określonego prawa. Prowadzi to do okresowego uwodzenia systemu śledzącego koordynatora i zerwania automatycznego śledzenia w prędkości.

W rezultacie w koordynatorze powstają przerwy w przychodzącej informacji o celu, co prowadzi do ruchu drgającego rakiety, a tym samym może spowodować przelot rakiety obok celu. Im większy czas przerw w dopływie informacji, a mniejszy czas jej przychodzenia, tym większy uchyb rakiety.

Tego rodzaju zakłócenia są najbardziej skuteczne, jeśli równocześnie stosujemy pozorne cele /pułapki/ oraz manewr samolotem.

3. METODYKA OBLICZEŃ NA STOSOWANIE AKTYWNYCH ŚRODKÓW ZAKŁÓCEŃ RADIOELEKTRONICZNYCH PRZECIWKO PRACY STACJI RADIOLOKACYJNYCH

Metodyka obliczeń na stosowanie aktywnych środków zakłóceń radioelektronicznych oparta jest na rozważaniach zawartych w części teoretycznej /rozd. 1 i 2/.

Ma ona na celu określenie w sposób uproszczony niezbędnej ilości sił i środków zakłóceń radioelektronicznych w celu rozwiązania konkretnych zadań taktycznych lub ich efektywności. W tym rozdziale podano kolejność dokonywanych obliczeń oraz niezbędne objaśnienia dotyczące wielkości przyjmowanych we wzorach.

3.1. Kolejność obliczeń na stosowanie samolotowych grupowych środków zakłóceń przeciwko naziemnym stacjom radiolokacyjnym wykrywania, naprowadzania i wskazywania celów

Podstawą do obliczeń na stosowanie samolotowych aktywnych środków zakłóceń przeciwko naziemnym stacjom radiolokacyjnym są:

a/ dane o osłanianym ugrupowaniu bojowym samolotów i warunkach stosowania zakłóceń RE, w tym:

- typ samolotu i jego skuteczna powierzchnia odbicia $/\sigma_c/$;
- rodzaj i rozmiary ugrupowania bojowego: wzdłuż frontu $/l_{ub}/$, głębokość $/L_{ub}/$, wysokość $/h_{ub}/$, prędkość $/V_{ub}/$, wysokość lotu $/H_{ub}/$;
- skuteczna powierzchnia odbicia ugrupowania bojowego $/\sigma_{ub}/$;
- trasa lotu ze wskazaniem rubieży rozpoczęcia i zakończenia stosowania zakłóceń;
- sposób stosowania zakłóceń RE /z ugrupowania bojowego lub stref/;
- prawdopodobieństwo wykrycia ugrupowania bojowego przez zakłócanie RLS w czasie jednego obrotu anteny w warunkach stosowania zakłóceń $/P_{wykr} \gamma/$;
- minimalna odległość zakłócania $/D_{min}/$;
- sektor, w którego granicach należy stosować zakłócenia α_{zakl} ;

b/ dane o zakłócającej stacji, w tym:

- typ stacji i jej dyslokacja;
- liczba kanałów i ich częstotliwości lub zakresy częstotliwości przestrajania kanałów $/f_{maks} - f_{min}/$;
- moc w impulsie $/P_1/$, częstotliwość powtarzania impulsów $/F_1/$, czas trwania impulsów $/T/$;
- znormalizowane charakterystyki kierunkowe anteny RLS w płaszczyźnie poziomej $k/\psi/$;
- szerokość wiązki anteny RLS w płaszczyźnie poziomej $/\Theta_{\varphi}^0/$;
- zysk kierunkowy anteny RLS $/G_{RLS}/$;
- prędkość obrotów anteny;

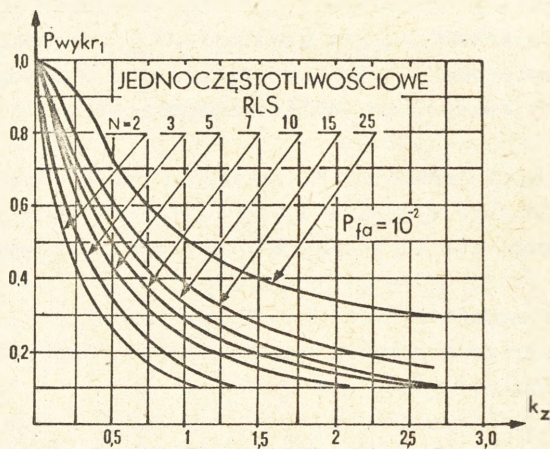
c/ dane o środkach zakłóceń, w tym:

- zakres przestrajania w częstotliwości stacji zakłóceń $/f_z maks - f_z min/$;
- moc nadajnika /generatora/ zakłóceń $/P_{nz}/$;
- rodzaj stosowanych zakłóceń;
- szerokość widma zakłóceń $/\Delta f_{nz}/$;
- szerokość charakterystyki kierunkowej stacji zakłóceń w płaszczyznach poziomej $/\Theta_{\varphi z}/$ i pionowej $/\Theta_{\xi z}/$;
- zysk kierunkowy anteny stacji zakłóceń $/G_z/$;
- liczba generatorów zakłóceń w składzie stacji zakłóceń $/m_z/$.

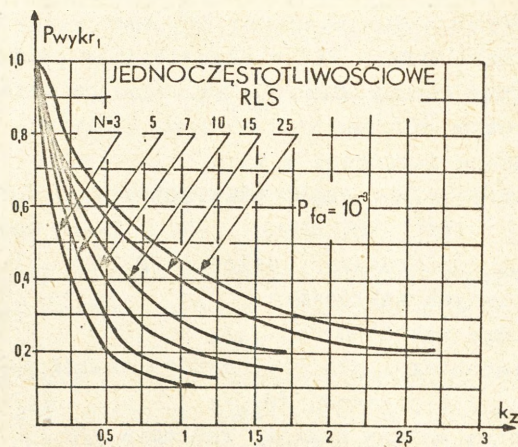
Obliczenia niezbędnej ilości aktywnych środków zakłóceń przeciwko naziemnym RLS wykrywania, naprowadzania i wskazywania celów, wykorzystywanych z ugrupowania bojowego wykonuje się w następującej kolejności:

1. Określa się niezbędne dane do obliczeń.
2. Określa się współczynnik tłumienia /skutecznych zakłóceń/ k_z ,

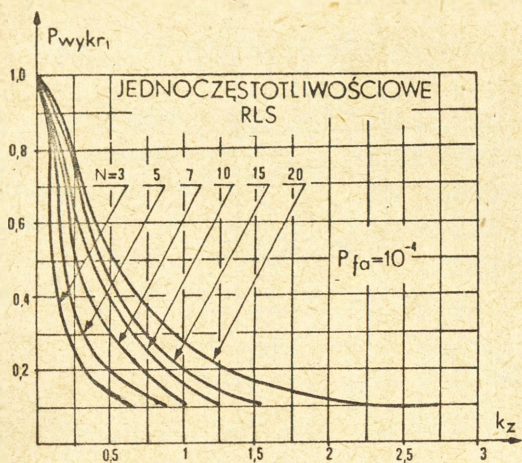
zapewniający zadane prawdopodobieństwo wykrycia $P_{wykr 1}$ na podstawie wykresów $k_z / P_{wykr 1}$ - rys. 7-10.



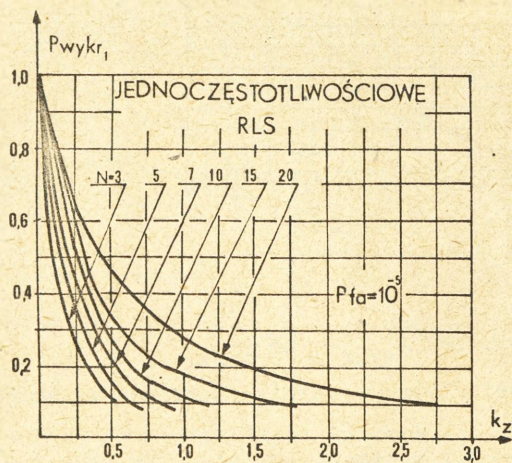
Rys. 7. Wykresy zależności k_z od $P_{wykr 1}$



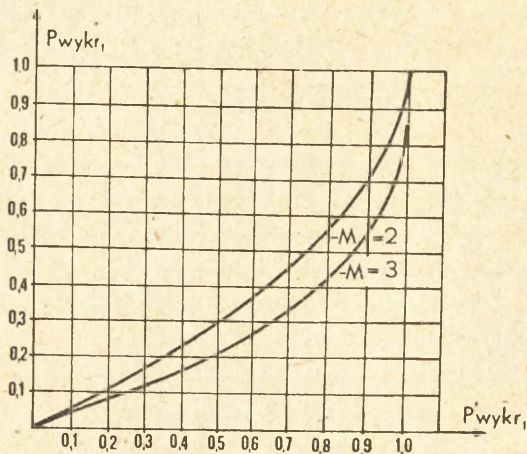
Rys. 8. Wykresy zależności k_z od $P_{wykr 1}$



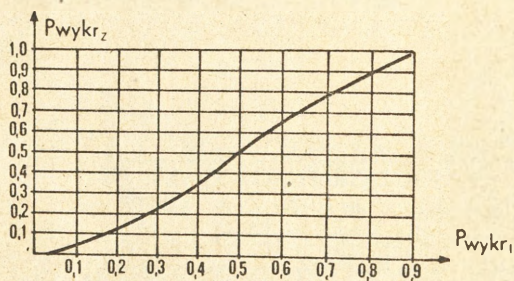
Rys. 9. Wykresy zależności k_z od $P_{wykr\ 1}$



Rys. 10. Wykresy zależności k_z od $P_{wykr\ 1}$



Rys. 11. Wykresy zależności P_{wykr_1} od P'_{wykr_1}

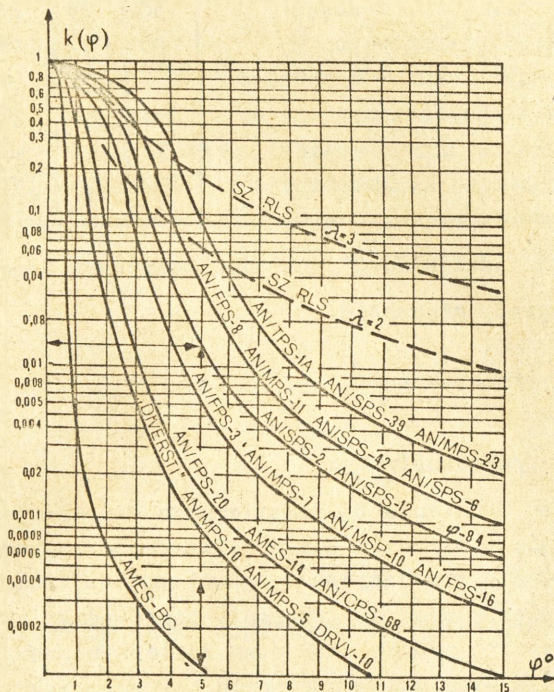


Rys. 12. Wykresy zależności P_{wykr_z} od P_{wykr_1}

3. Określa się moc efektywną nadajnika zakłóceń wg wzorów /6/ i /6'/.
4. Określa się potencjał energetyczny stacji zakłóceń A_{nz} i zakłócającej RLS A_{RLS} według wzorów /11/ i /12/.
5. Określa się wartość znormalizowanej charakterystyki kierunkowej RLS k/φ_{Rz} na krańcach efektywnego /skutecznego/ sektora zakłóceń dla D_{min} , przy którym zapewnia się wymagany współczynnik tłumienia:

$$k/\varphi_{rz}/ = \frac{k/E/}{D_{\min}} \sqrt{\frac{k_z A_{RLS} \sigma_{ub}}{4\pi A_{nz}}}$$

6. Określa się sektor skutecznych zakłóceń α_{ef} z odległości D_{\min} na podstawie $k/\varphi_{rz}/$ i znormalizowanej charakterystyki kierunkowej RLS w płaszczyźnie poziomej. Jeśli brak jest znormalizowanych charakterystyk stacji radiolokacyjnej w płaszczyźnie poziomej, to dla najczęściej spotykanych stacji można posługiwać się uproszczonymi charakterystykami kierunkowymi przedstawionymi na rys. 13.



Rys. 13. Znormalizowane charakterystyki kierunkowe RLS w płaszczyźnie poziomej

Skuteczną powierzchnię odbicia ugrupowania bojowego określa wzór:

$$\sigma_{ub} = N \cdot \sigma_c \eta$$

gdzie: N - liczba samolotów w ugrupowaniu bojowym, które mogą znaleźć się w objętości "odbijającej" RLS;

σ_c - skuteczna powierzchnia odbicia pojedynczego samolotu;

η - współczynnik uwzględniający rozmieszczenie samolotów w objętości odbijającej RLS. Mieści się w granicach $0,7 \div 0,9$.

Srednie wartości skutecznej powierzchni odbicia σ_c współczesnych samolotów podczas obserwacji z przedniej półsfery w zakresie kątów $\pm 60^\circ$ podane są w tabeli 2.

Tabela 2

Rodzaj samolotów	Zakres fal /cm/	3-5	10	23	70	150
Samoloty lotnictwa dalekiego zasięgu		30	25	23	20	18
Samoloty bombowe lotn. frontowego		20	17	15	13	10
Samoloty lotnictwa myśliwsko - bombowego		7	5	4	3	2
Samoloty lotnictwa transportowego						
- ciężkie		50	45	40	35	30
- lekkie		30	25	23	20	18

Rozmiary objętości "odbijającej" RLS charakteryzują dane:

$$L_{odb} = \frac{C \cdot \tau}{2} \quad \text{/długość, głębokość/}$$

$$L_{odb} = \frac{D_{min} \theta_\varphi^0}{57,3} \quad \text{/szerokość/}$$

$$h_{odb} = \frac{D_{min} \theta_\varepsilon^0}{57,3} \quad \text{/wysokość/}$$

Minimalną odległość tłumienia D_{min} naziemnych RLS wykrywania i naprowadzania określa się z warunków uniemożliwiających wykorzystanie przez przeciwnika RLS dla rozwiązywania zadań naprowadzania myśliwców. Zależy ona od czasu niezbędnego na dokonanie naprowadzania, prędkości lotu samolotów bombowych i myśliwskich oraz systemu naprowadzania myśliwców. Na przykład dla niezautomatyzowanych systemów wykrywania i naprowadzania, w których dane w systemie z powiadamiania i dowodzenia myśliwcami dają opóźnienie 5 - 6 min, a prędkości lotu bombowców są rzędu 800-1000 km/h, minimalna odległość tłumienia D_{min} , przy której zapewnia się zerwanie przechwycenia bombowców do linii styczności wojsk, wynosi 100-120 km.

Podana minimalna odległość tłumienia może być przyjęta do obliczeń środków zakłóceń przy lotach w kierunku linii styczności wojsk, tj. od rubieży rozpoczęcia stosowania zakłóceń do prawdopodobnej rubieży przechwycenia.

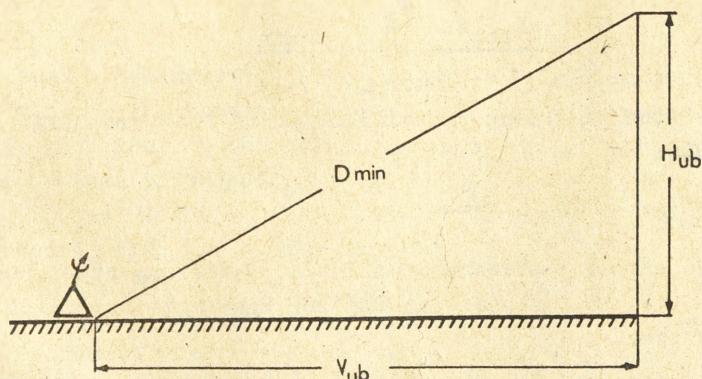
Minimalna odległość tłumienia naziemnych RLS naprowadzania po prze-
locie prawdopodobnej rubieży przechwycenia wykluczającej możliwości na-
prowadzania z danej stacji /przy średnim czasie naprowadzania 4 - 5 min
i prędkości samolotów bombowych 800-1000 km/h/, wynosi 30-70 km.

Dla RLS naprowadzania dział przeciwlotniczych wyposażonych w stacje
śledzenia celu oraz systemów kierowania przeciwlotniczych pocisków ra-
kietowych minimalną odległość tłumienia dobiera się z warunku uniemoż-
liwiającego prowadzenie celnego ognia/tj. do chwili gdy zakłócenia przes-
taną być skuteczne/.

Dla stacji naprowadzania dział minimalna odległość tłumienia może
być obliczona według wzoru:

$$D_{\min} = H_{ub} + \sqrt{[V_{ub} / t_{lp} + t_o]^2}$$

gdzie: H_{ub} - wysokość lotu ugrupowania bojowego;
 t_{lp} - czas lotu pocisku artylerii przeciwlotniczej;
 V_{ub} - prędkość lotu ugrupowania bojowego;
 t_o - czas od momentu przechwycenia celu przez stację naprowa-
dzania dział /SON/ do momentu odpalenia pocisku.



Rys. 14. Określanie D_{\min}

Podczas stosowania zakłóceń RLS śledzenia celu przez zestawy prze-
ciwlotniczych kierowanych pocisków rakietowych za minimalną odległość
tłumienia z określonym zapasem można przyjąć granicę strefy odpalenia
rakiet, którą oblicza się według wzoru:

$$D_{\min} = D_{zr} = D_{bg} + \Delta D = V_{sr.r} t_{wej} + V_{ub} / t_r + t_o /$$

gdzie: $D_{bg} = V_{sr.r} t_{wyp}$ - bliższa granica strefy rażenia;

$V_{sr.r}$ - średnia prędkość lotu rakiety do punktu wejścia na trajektorię kinematyczną;

V_{ub} - prędkość ugrupowania bojowego;

t_{wejt} - czas wejścia rakiety na trajektorię kinematyczną;

t_r - czas lotu rakiety do punktu spotkania;

t_0 - czas od momentu przechwycenia celu do odpalenia rakiety.

7. Określa się minimalną liniową szerokość sektora skutecznych zakłóceń $l_z \min$ według wzoru:

$$l_z \min = \frac{D_{\min} \alpha_{ef}}{57,3}$$

8. Określa się niezbędną liczbę źródeł zakłóceń.

Jeśli $l_{ub} < l_z \min$ i $L_{ub} < l_z \min \frac{1}{\sin \frac{\varphi_z}{2}}$, to do osłony ugrupowania

bojowego wystarczy jedno źródło zakłóceń. Jeśli powyższe warunki nie są spełnione, to liczbę źródeł określa się wzdłuż frontu:

$$N_1 = \frac{l_{ub} - l_z \min}{l_z \min \Sigma} + 1,$$

i wzdłuż głębokości ugrupowania bojowego:

$$N_L = \frac{L_{ub} \sin \frac{\varphi_z}{2} - l_z \min}{l_z \min \Sigma}$$

gdzie: φ_z - sektor, w którego granicach należy stosować zakłócenia RLS;

$$l_z \min \Sigma = \frac{D_{\min} \alpha_{ef \Sigma}^0}{57,3}$$

$\alpha_{ef \Sigma}^0$ - sektor skutecznych zakłóceń, określane przez równocześnie oddziałujące na RLS dwa sąsiednie nadajniki zakłóceń.

Wartość $\alpha_{ef \Sigma}^0$ określa się na podstawie znormalizowanej charakterystyki kierunkowej, analogicznie do punktu 6, dla $k/\varphi_{rz} / \Sigma = 0,7 k/\varphi_{rz} /$.

Ogólna liczba nadajników /źródeł/ zakłóceń N równa jest iloczynowi

$N_1 \cdot N_L$.

Odległości pomiędzy źródłami zakłóceń wzdłuż frontu $l_z \min \Sigma$ w głębokości ugrupowania bojowego wynoszą:

$$l_z \min \Sigma = \frac{1}{\sin \frac{\varphi_z}{2}}$$

9. Określa się liczbę stacji zakłóceń dla osłony ugrupowania bojowego:

a/ podczas stosowania zakłóceń zaporowych /szerokopasmowych/ w każdym źródle zakłóceń liczba generatorów zakłóceń wynosi:

$$m_0 = \frac{f_{\text{maks}} - f_{\text{min}}}{\Delta f_{\text{nz}} / (1 - k_{\text{prz}})}$$

gdzie: k_{prz} - współczynnik wzajemnego pokrywania się sektorów zakłóceń od generatorów / $k_{\text{prz}} = 0,1 - 0,15$ /.

Liczba stacji zakłóceń w każdym źródle wynosi:

$$M = \frac{m_0}{m_z}$$

gdzie: m_z - liczba generatorów znajdujących się w jednej stacji zakłóceń.

b/ podczas stosowania zakłóceń selektywnych przeciwko nieautonomicznym stacjom liczba stacji zakłóceń w każdym źródle jest równa liczbie zakłócanych RLS /kanałów/.

c/ podczas stosowania zakłóceń wąskopasmowych za pomocą stacji zakłóceń posiadających kilka generatorów jedna stacja może wytwarzać zakłócenia kilku RLS w granicach charakterystyki kierunkowej anteny stacji zakłóceń.

Przykład:

1/ Dane wyjściowe

Należy osłonić zakłóceniami aktywnymi przed wykryciem naziemnych RLS typu AN /FPS - 3 ugrupowanie bojowe samolotów lecących w kolumnie dwóch kluczy, zmniejszyć prawdopodobieństwo wykrycia do $P_{\text{wykr } 1} = 0,1$.
Rozmiary ugrupowania bojowego: $l_{\text{ub}} = 400 - 500$ m; $L_{\text{ub}} = 950 - 1100$ m;
 $G_{\text{ub}} = 30$ m²; $D_{\text{min}} = 70$ km. Wysokość lotu $H_{\text{ub}} = 10000$ m.

Dane zakłócającej RLS: $f_{\text{min}} = 1215$ MHz; $f_{\text{maks}} = 1365$ MHz; liczba kanałów 2; $P_i = 700$ KW; $\tau = 3$ μ s; G_r maks = 6000. Znormalizowana charakterystyka kierunkowa w płaszczyźnie poziomej podana jest w przybliżeniu na rys. 14. Szerokość charakterystyki kierunkowej w azymucie $\Theta_p = 1,3^\circ$; w kącie położenia $\Theta_\xi = 18^\circ$; prędkość obrotów anteny $n_A = 6$ obr/min; częstotliwość powtarzania impulsów $F_i = 400$ imp/s.

Dane stacji zakłócającej: stacja posiada kilka generatorów zakłóceń szerokopasmowych /3/ f_z maks = 1400 MHz; f_z min = 1000 MHz; moc $P_{\text{nz}} = 600$ W; szerokość pasma zakłóceń $\Delta f_{\text{nz}} = 60$ MHz; antena bezkierunkowa / $G_z = 1$ / w płaszczyźnie poziomej i kierunkowa w płaszczyźnie pionowej / $G_z = 3$ /; polaryzacja kołowa.

2/ Współczynnik tłumienia /zakłóceń/

Liczba impulsów odebranych za okres obserwacji:

$$N = 0,7 \frac{1,3 \cdot 400}{6 \cdot 6} = 10 \text{ imp.}$$

Przyjmujemy prawdopodobieństwo fałszywego alarmu $P_{fa} = 10^{-5}$, a z wykresu /rys. 10/ odczytujemy: $k_z = 1$.

3/ Efektywna moc nadajnika zakłóceń:

$$P_{ze} = 600 \cdot 0,5 \frac{1}{60 \cdot 3} = 1,7 \text{ W}$$

4/ Potencjał energetyczny RLS i nadajnika zakłóceń:

$$A_{RLS} = 7 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^3 = 42 \cdot 10^8 \text{ W}$$

$$A_{nz} = 1,7 \cdot 3 = 5 \text{ W}$$

5/ Określenie $k/\varphi_{rz}/$:

$$k/\varphi_{rz}/ = \frac{0,8}{7 \cdot 10^4} \sqrt{\frac{1 \cdot 42 \cdot 10^8 \cdot 30}{4 \pi \cdot 5}} = 0,51$$

6/ Sektor skutecznych zakłóceń określamy dla $k/\varphi_{rz}/ = 0,51$; $\alpha_{ef} = 3,5^\circ$.

7/ Liniowa szerokość sektora zakłóceń skutecznych:

$$l_z \text{ min} = \frac{70 \cdot 3,5}{57,3} = 4,27 \text{ km}$$

8/ Liniowa szerokość sektora skutecznych zakłóceń jest większa od rozmiarów ugrupowania bojowego, dlatego też do jego maskowania wystarcza jedno źródło zakłóceń.

9/ Liczba generatorów zakłóceń w źródle zakłóceń:

$$m_o = \frac{1365 - 1215}{60 / 1 - 0,1/} = \frac{150}{54} \approx 3$$

10/ Określamy liczbę stacji zakłóceń.

Dla zmniejszenia prawdopodobieństwa wykrycia ugrupowania bojowego do wartości 0,1 przez naziemne RLS typu AN/FPS-3 należy w ugrupowaniu posiadać stacji:

$$M = \frac{3}{3} = 1$$

3.2. Obliczanie skuteczności osłony ugrupowania bojowego

Obliczenia skuteczności osłony ugrupowania bojowego zakłóceniami czynnymi przed wykryciem przez naziemne RLS wykrywania, naprowadzania i wskazywania celów dokonuje się w następującej kolejności:

1. Określa się dane wyjściowe dla dokonania obliczeń. W uzupełnieniu do ogólnych danych z rozmieszczenia stacji w ugrupowaniu bojowym określa się L_{nz} - odległość między źródłami zakłóceń w głębokości.

2. Określa się efektywną moc nadajnika zakłóceń na podstawie wzoru /6/.

3. Określa się potencjały energetyczne nadajnika zakłóceń $A_{nz}/$ i A_{RLS} na podstawie wzorów /11/ i /12/.

4. Określa się wymagany sektor skutecznych zakłóceń:

- w wypadku osłony jednym źródłem zakłóceń

$$\alpha_{ef} = \frac{57,3 L_{ub} \sin \frac{\varphi_z}{2}}{D_{min}}$$

- w wypadku osłony ugrupowania bojowego kilkoma źródłami zakłóceń

$$\alpha_{ef\Sigma} = \frac{57,3 L_{ub} \sin \frac{\varphi_z}{2}}{D_{min}}$$

5. Określa się wartość znormalizowanej charakterystyki kierunkowej k/φ_{RZ} lub $k/\varphi_{RZ} / \Sigma$ na podstawie wykresów /rys. 13/ i wartości α_{ef} lub $\alpha_{ef\Sigma}$.

6. Określa się współczynnik tłumienia RLS przez stacje zakłóceń:

- w wypadku osłony z jednego źródła zakłóceń

$$k_z = \frac{k^2/\varphi_{RZ} / D_{min}^2 4\pi A_{nz}}{k^2/\varepsilon / A_{RLS} G_{ub}}$$

- w wypadku osłony ugrupowania bojowego z kilku źródeł zakłóceń

$$k_z = \frac{2k^2/\varphi_{RZ} / D_{min} 4\pi A_{nz}}{k^2 / \varepsilon / A_{RLS} G_{ub}}$$

7. Na podstawie wartości k_z określa się zapewniające przez stacje zakłóceń prawdopodobieństwo wykrywania ugrupowania bojowego $P_{wykr} 1/$ na podstawie wzorów /2/, /3/ lub wykresów /rys. 7-12/.

8. Sprawdza się czy w każdym źródle zakłóceń jest wystarczająca liczba stacji zakłóceń zgodnie z punktem 9 i 10 poprzednio podanego przykładu.

Obliczenia wymaganej ilości aktywnych środków zakłóceń dla obezwładnienia RLS wykrywania, naprowadzania i wskazywania celów z wybranych stref dyżurowania dokonuje się w następującej kolejności:

1. Określa się wyjściowe dane do obliczeń.

W uzupełnieniu do wymienionych wyżej wyjściowych danych w wypadku stosowania zakłóceń ze strefy należy w oparciu o sytuację taktyczną wybrać: odległość $/D_z/$ stref od obezwładnianych zakłóceniami RLS i szerokość pasa zakłóceń zakłóceniami aktywnymi $/L_z/$.

2. Określa się współczynnik zakłóceń podobnie jak podczas stosowania zakłóceń z ugrupowania bojowego.

3. Określa się efektywną moc nadajnika zakłóceń oraz potencjały energetyczne RLS $/A_{RLS}/$ i nadajnika zakłóceń $/A_{nz}/$.

4. Określa się $k/\varphi_{rz}/\Sigma$ dla $D_c = D_{min}$, przy którym zapewnia się wymagany współczynnik tłumienia według wzoru:

$$k/\varphi_{rz}/ = 0,7 \frac{D_z k^2 / \varepsilon_{rc}/}{D_c^2 k/\varepsilon_{rz}/} \sqrt{\frac{k_z G_{ub} A_{RLS}}{4\pi A_{nz}}}$$

5. Określa się sektor skutecznych zakłóceń $\alpha_{ef\Sigma}$ na odległości D_{min} na podstawie wartości $k/\varphi_{rz}/$ i znormalizowanej charakterystyki kierunkowej anteny RLS w płaszczyźnie poziomej.

6. Określa się odległość pomiędzy strefami /liniową szerokość sektora zakłóceń/ przy stosowaniu /ciągłego/ pasa zakłóceń:

$$l_z \min \Sigma = \frac{D_z \alpha_{ef\Sigma}}{57,3}$$

7. Określa się liczbę stref na podstawie pasa osłony zakłóceniami L_z :

$$N = \frac{L_z}{l_z \min \Sigma}$$

8. Liczbę stacji zakłóceń w każdej strefie oblicza się analogicznie do punktu 9 dla stosowania zakłóceń z ugrupowania bojowego.

Podczas stosowania zakłóceń z jednej strefy /lub z kilku nie związanych z sobą/ obliczenia dokonuje się jak w punktach 1-3, a zatem określa się sektory stref zakłóceń, korzystając ze wzorów /16/ dla kilku odległości do celu od D_{maks} do D_{min} .

3.3. Kolejność obliczeń skuteczności stosowania indywidualnych środków zakłóceń przeciwko stacjom radiolokacyjnym z automatycznym śledzeniem celów

Obliczenia skuteczności stosowania zakłóceń czynnych sprowadzają się do oceny wymaganej mocy stacji zakłóceń dla zerwania automatycznego śledzenia lub do określenia błędu kątownego, zmniejszającego rażenie samolotu.

Obliczenia wymaganej mocy stacji zakłóceń dokonuje się w następującej kolejności:

Określa się dane wyjściowe:

- skuteczną powierzchnię odbicia samolotu $/\sigma_c/$;
- niezbędną minimalną odległość zakłócania $/D_{min}/$;
- dane o zakłócającej RLS /częstotliwość pracy, zakres częstotliwości $/f_{maks} - f_{min}/$, moc w impulsie $/P_i/$; czas trwania impulsu $/T/$, zysk kierunkowy anteny $/G_{RLS maks}/$, szerokość charakterystyki kierunkowej anteny $\Theta_\varphi, \Theta_\xi$, metoda śledzenia/;
- dane o stacji zakłóceń /rodzaj stosowanych zakłóceń, zakres prze-

strajania $/f_z \text{ maks} - f_z \text{ min}/$, moc generatora zakłóceń $/P_{nz}/$, zysk kierunkowy anteny stacji zakłóceń $/G_z/$.

Dla stosowania zakłóceń odzewowo-szumowych przeciwko RLS impulsowym na podstawie wyżej podanej metody określa się współczynnik tłumienia k_z .

Określa się minimalną odległość zakłócania RLS przez stację zakłóceń:

$$D_z \text{ min} = 0,7 \sqrt{\frac{k_z A_{RLS} G_c}{4 \pi A_{nz}}}$$

gdzie: $A_{RLS} = P_i G_{RLS \text{ maks}}$; $A_{nz} = P_{ze} G_{nz}$

Porównuje się minimalną odległość zakłócania stacji zakłóceń $D_z \text{ min}$ z wymaganą D_{min} . Jeśli $D_z \text{ min} \leq D_{\text{min}}$, to nadajnik zakłóceń będzie efektywny dla osłony samolotu aż do minimalnej odległości zakłóceń.

Zakłócenia odzewowo-szumowe mogą być stosowane przeciwko koordynatorom rakiet kierowanych z półaktywnym samonaprowadzaniem z ciągłym promieniowaniem podczas pracy stacji zakłóceń w reżymie "migotania" w ugrupowaniu bojowym pary samolotów.

W tym wypadku w rezultacie obliczeń określa się uchyb rakiety przy jej odpalaniu z minimalnej odległości /dla rakiety klasy "powietrze - powietrze"/ lub na możliwych odległościach odpalenia /dla przeciwlotniczych rakiet kierowanych klasy "ziemia - powietrze"/. Wielkości uchybu oblicza się na podstawie wzorów zawartych w rozdziale 2.

Podczas stosowania zakłóceń odzewowych modulowanych częstotliwością wirowania wiązki lub szumem małej częstotliwości określa się stosunek sygnału zakłóceń do sygnału użytecznego według wzoru /26/ i /31/, a kątowy błąd automatycznego samonaprowadzania według wzoru /38/ lub /40/.

W zależności od przyjętej metody rozwiązywania zadania strzelania według błędu kąтового samonaprowadzania ocenia się uchyb rakiety i prawdopodobieństwo rażenia.

Przykład: Określić skuteczność stacji zakłóceń odzewowo-impulsowych modulowanych częstotliwością wirowania wiązki, stosującej zakłócenia pokładowej RLS wykorzystywanej do strzelania pociskami "powietrze - powietrze" naprowadzanych w wiązce jej charakterystyki.

1/ Dane wyjściowe: $G_c = 15 \text{ m}^2$; $f_{\text{min}} - f_{\text{maks}} = 92 \text{ } 10 \div 92 \text{ } 60 \text{ MHz}$; $P_i = 200 \text{ kW}$; $T = 0,25 \mu\text{s}$; $G_{RLS \text{ maks}} = 600$; $\theta_\varphi = \theta_\xi = \theta_{0,5} = 2,5^\circ$; $\theta_0 = 1,25^\circ$; samonaprowadzanie z odkrytą częstotliwością wirowania /przeszukiwanie anteną nadawczą/, $D_{\text{min}} = 5 \text{ km}$. Stacja zakłóceń: $f_z \text{ min} - f_z \text{ maks} = 9000 - 9500 \text{ MHz}$; $P_{ze} = 10\text{W}$; $G_z = 5$; $m_z = 0,8$.

$$2/ A_{RLS} = 2 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^3 = 12 \cdot 10^8 \text{ W}$$

$$A_{nz} = 10 \cdot 5 = 50 \text{ W}$$

$$3/ k_z' = \frac{5 \cdot 10^3}{0,7} \sqrt{\frac{4\pi \cdot 50}{12 \cdot 10^8 \cdot 15}} = 1,33$$

$k_z' > 1$ na minimalnej odległości do stacji przechwytywania, zatem zakłócenia są skuteczne.

4/ Kątowy błąd automatycznego śledzenia /w oparciu o wzór /38/

$$A = 0,8 \frac{1,33}{1 + 1,33} = 0,46$$

$$\Delta \theta_u^0 = \frac{1}{5,6} \cdot \frac{(2,5^0)^2}{1,25^0} \cdot 1_n \frac{1,46}{0,54} = 0,89^0$$

ponieważ $\theta_u^0 > 0,8$, zostaje zerwane automatyczne śledzenie celu przez RLS.

BIBLIOGRAFIA

1. Organizacja radioprotiwodziejstwa w czastkach i sojedinenijach frontowej awiacyi. Wyd. ZSRR.
2. Sprawocznik po osnovam radiolokacyjnojj techniki. Wyd. ZSRR.
3. Zastosowanie bojowe stacji zakłóceń SPS-141 w osłonie samolotów. Wyd. ASG WP.

Wydrukowano w 60 egz.

Egz. nr 1-60 - Bibl. Nauk. OZS

Wyk. płk Piątkowski

Druk. M.J. dnia 15.12.1982 r.

Druk ASG WP nr pf 532/pf 1891/WW

Kor. I.P.

